

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

**Тема роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ТРУБ ДІАМЕТРОМ
10 мм ХОЛОДНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ»**

Виконав:
студентка групи МТ-21-1 _____ Оксана ЛЕЩЕНКО

Керівник випускної роботи _____ Дмитро БАБОШКО

Нормоконтролер _____ Дмитро БАБОШКО

Завідувач кафедри _____ Сергій САВЕЛЬСВ

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

Лещенко Оксани Іванівни

1. Тема роботи: Дослідження та розробка технологічного процесу виготовлення тонкостінних труб діаметром 10 мм холодною деформацією _____

керівник роботи: __к.т.н., доцент Бабошко Дмитро Юрійович _____

затверджено наказом по КНУ від «__04__» _____ 03 _____ 2025 р. №__149с__

2. Строк подання роботи студентом «__01__» _____ 06 _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Тонкостінна труба: діаметр 0,025-0,1; зовнішній діаметр – 5-150 мм; довжина 1,5-12 м; товщина – 0,3-1,5 мм; легована конструкційна сталь 18ХГТ; схема прокатки труб; схема розташування устаткування станів холодної прокатки.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питання, які потрібно розробити)

1. Аналіз виробництва тонкостінних труб: загальна характеристика, призначення, класифікація, матеріал для виготовлення, обладнання, загальні технологічні операції, валкова прокатка, роликові стани холодної прокатки.

2. Розробка технології холодної деформації тонкостінної труби: технологічні операції, обтиснення, деформація валкового інструменту, показники точності та різнотовщинності, зусилля холодної прокатування, момент прокатування тонкостінної труби.

5. Перелік графічного матеріалу

Схема прокатки труб на стані холодної прокатування (робочий хід). Осередок деформації при холодному прокатуванні труби. Схема розташування устаткування станів холодної прокатки труб. Робоча кліть стану холодної прокатування труби. Повздовжній переріз осередку деформації. Схема утворення миттєвого осередку деформації. Поперечний переріз рівчака калібру та труби на початку зони обтиснення. Результати розрахунку сили прокатування.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	20.01-29.01.2025
2	Аналіз виробництва тонкостінних труб: загальна характеристика, призначення	01.02-10.02.2025
3	Матеріали та технологічні операції з виготовлення тонкостінної труби	10.02-25.05.2025
4	Валкова прокатка та роликові стани холодної прокатки труб	26.02-10.03.2025
5	Розробка технології холодної деформації тонкостінної труби: послідовність технологічних операцій, визначення величини обтиснення	11.03-10.04.2025
6	Деформація валкового інструменту, дослідження показників точності та різнотовщинності	11.04-30.04.2025
7	Зусилля холодного прокатування та момент прокатування тонкостінної труби	01.05-20.05.2025
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2025
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2025
10	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2025

Дата видачі завдання «__20__»_____01_____2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Оксана ЛЕЩЕНКО
(підпис)

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи _____ Дмитро БАБОШКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

Дослідження та розробка технологічного процесу виготовлення тонкостінних труб діаметром 10 мм холодною деформацією

Пояснювальна записка: 57 стор., 4 табл., 18 рис., 20 джерел.

Об'єкт дослідження: процеси виготовлення тонкостінних труб.

Предмет дослідження: технологічні операції, що виконують при холодному прокатуванні тонкостінної труби з зовнішнім діаметром 10 мм.

Мета роботи: проаналізувати існуючі процеси і розробити сучасну технологію виготовлення тонкостінної труби холодною деформацією.

Методи дослідження: теоретичний аналіз процесу холодного прокатування, будови та принципу дії агрегатів для холодного прокатування тонкостінних труб, розрахунковий метод визначення режимів обтиснень та витрат енергії.

Результати роботи: в роботі розглянуто способи виготовлення тонкостінних труб, визначено переваги та недоліки, запропоновано сучасну технологію виготовлення тонкостінної труби на стані холодного прокатування; визначено обладнання, що дозволяє здійснити процес та інструмент, запропоновано послідовність операції, що дозволяють отримати якісний виріб.

АГРЕГАТ ХОЛОДНОГО ПРОКАТУВАННЯ, ТОНКОСТІННА ТРУБА,
КАЛІБРУВАННЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА, ОБТИСНЕННЯ, ЗУСИЛЛЯ
ПРОКАТУВАННЯ, ХОЛОСТИЙ ХІД

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.Р						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Лещенко			РЕФЕРАТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Бабошко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Бабошко									
Затвердив		Савельєв									

Перв. примен.		№ строки	формат	Обозначение	Наименование	кол. листов	№ экз.	Примечание	
		1							
		2	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.ПЗ	Пояснювальна записка	57			
		3							
		4			Графічна частина				
		5			(Презентація)				
Справ. №		6	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.01	Схема прокатки труб на				
		7		стані холодного прокатування	1				
		8	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.02	Осередок деформації	1			
		9	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.03	Схема розташування устаткування				
		10		станів холодної прокатки труб	1				
		11	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.04	Робоча кліть стану	1			
		12	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.05	Повздовжній переріз осередку				
		13		деформації	1				
		14	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.06	Схема утворення миттєвого				
Подп. и дата		15		осередку деформації	1				
		16	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.07	Поперечний переріз рівчака				
		17		калібру та труди	1				
		18	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.08	Результати розрахунку				
Инв. № дубл.		19		сили прокатування	1				
		20							
		21							
Взам. инв. №		22							
		23							
		24							
Подп. и дата									
Инв. № подл.		КНУ.РБ.136.25.14 9с-13.В0							
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разраб.	Лещенко						
		Проб.	Бадошко						
		Н.контр.	Бадошко						
		Утв.	Савельєв						
Відомість об'єму матеріалів						Лит.	Лист	Листов	
кваліфікаційної роботи						р	δ		
Чертеж общего вида						1			
						1			
						кафедра МЧМ/В			
						група МТ-21-1			

Копировал

Формат А4

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОСТІННИХ ТРУБ.....	9
1.1 Загальна характеристика тонкостінних труб.....	9
1.2 Призначення тонкостінної труби.....	10
1.3 Матеріал для виготовлення тонкостінних труб.....	13
1.4 Загальні технологічні операції з виготовлення тонкостінної труби...	14
1.5 Валкова прокатка тонкостінної труби.....	15
1.6 Роликові стани холодної прокатки труб.....	25
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТОНКОСТІННОЇ ТРУБИ.....	31
2.1 Послідовність основних технологічних операції при холодному прокатуванні труби.....	31
2.2 Визначення величини обтиснення при холодній деформації тонкостінної труби.....	36
2.3 Деформація валкового інструменту.....	40
2.4 Дослідження показників точності та різнотовщинності.....	42
2.5 Зусилля холодного прокатування тонкостінної труби.....	47
2.6 Момент прокатування тонкостінної труби.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.3				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Лещенко			ЗМІСТ		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Бабошко						1	1
Рецензент							Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.		Бабошко							
Затвердив		Савельєв							

ВСТУП

Металургійна промисловість дозволяє отримати різні сталі та сплави на металевій основі, що призначені задовільняють потреби людства. З металів та сплавів виготовляють безліч різних виробів, що використовують в народному господарстві. Без використання труб важко собі уявити будь-яку діяльність людини. Труби використовуються в усіх сферах народного господарства: в металургійній, машинобудівній, будівній промисловості. Останнім часом металеві труби замінюють трубами з композитних матеріалів, але вони далеко не в усіх галузях можуть використовуватися. У зв'язку з цим все більше зростає роль труб з металевих сплавів. Дуже затребувані труби зі сталей та сплавів до яких пред'являють високі вимоги з якості та міцностних характеристик, термостійкості та витривалості, корозостійкості тощо. Такі труби дуже затребувані в нафтопереробній, хімічній, авіаційній, суднобудівній промисловості, машинобудуванні та приладобудуванні, в нафтогазовій та енергетичній галузі тощо.

Тонкостінні труби мають досить широке споживання в багатьох галузях народного господарства. Сучасні холоднодеформовані труби є досить високоточними і широко використовують їх у відповідальних механізмах новітнього машинобудування, енергетики, авіабудуванні. Існує декілька технологій, що дозволяють отримати такі труби потрібної якості та міцності. Для отримання таких труб переважно використовують холодне прокатування на станах холодного прокатування труб та валкового прокатування. На цих станах процес прокатування здійснюється за декілька проходів, через що така технологія має назву багатопрохідною. В умовах такого прокатування здійснюється зменшення товщини та збільшення довжини труб. Одночасно з цим відбувається і зменшення поперечної різнотовщинності труби, що є дуже важливим

					КНУРБ.136.25.149с-13.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лещенко						1	2
Перевірив	Бабошко							
Рецензент								
Н. контр.	Бабошко							
Затвердив	Савельєв					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		

показником точності холоднодеформованої труби.

Забезпечення необхідної точності з поперечної різотінності холоднокатаних труб є доволі складної, на що потрібно зосередити додаткові дослідження, які забезпечать отримання потрібних геометричних розмірів труби в межах сучасних допусків, що є актуальною задачею.

На меті дипломної роботі дослідити існуючі технологічні процеси, що дозволяють отримати тонкостінну трубу холодної деформацією та запропонувати найбільш перспективний, визначити послідовність операцій, що дозволять отримати якісний виріб з максимальним терміном працездатності.

Для досягнення мети потрібно виконати наступні задачі:

- дослідити обладнання, що буде використовуватися, його режими роботи, принцип дії;
- визначити інструмент для здійснення процесу холодного прокатування тонкостінної труби та запропонувати його калібрування, що дозволить отримати точні розміри холоднокатаної тонкостінної труби;
- дослідити показники точності, що дозволяє отримати пропонуєме обладнання, та зробити висновки щодо підвищення точності;
- визначити режими обтиснення, що дозволяють виготовити якісний виріб з максимальною продуктивністю процесу,
- визначити витрати енергії та зусилля холодного прокатування тонкостінної труби з зовнішнім діаметром 10 мм.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.ВС	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОСТІННИХ ТРУБ

1.1 Загальна характеристика тонкостінних труб

Труба уявляє собою довгомірний порожнистий металевий виріб, як правило, кільцевого поперечного перерізу, що призначений для переміщення рідину, газу, пару тощо.

Усі металеві труби класифікують за декількома ознаками:

- за способом виробництва труби класифікують на електрозварні, холодно- та гарячodeформовані тощо;
- за маркою матеріалу: сталеві, чавунні, залізобетонні тощо;
- за призначенням: для машинобудування, для будівництва, для буріння тощо;
- за способом з'єднання.

Одна з характерних ознак труби – це відношення товщини її стінки до загального діаметру. За такою ознакою труби поділяють на тонкостінні та товстостінні.

Тонкостінною вважається та труба, у якої відношення товщини стінки до діаметру дорівнює 0,025-0,1. Зовнішній діаметр такої труби може дорівнювати від 5 мм до 150 мм. Довжина труби може становити від 1,5 м до 12 м. Товщина стінки труби може становити від 0,3 мм до 1,5 мм. Усі розміри труби відображаються у відповідних державних стандартах. Такі труби відносяться до холоднодеформованих. Загальний вигляд тонкостінної безшовної труби наведено на рис. 1.1, де видно форму та зовнішній вигляд готових тонкостінних труб.

Труба, яка отримана холодною деформацією має розміри, як правило менші, за розміри, що труби, які отримані гарячою деформацією. Холодна деформація дозволяє отримати труби з високою якістю та точністю розмірів.

					КНУРБ.136.25.149с-13.01.АВТТ			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОСТІННИХ ТРУБ			
Розробив	Лещенко							
Перевірив	Бабошко							
Рецензент								
Н. контр.	Бабошко							
Затвердив	Савельєв				Літ. Аркуш Аркушів 1.1 22 Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд тонкостінної труби

Якість холоднодеформованих тонкостінних труб контролюється за стандартами та технічними вимогами. У сучасній промисловості з'являються високі вимоги до геометричних розмірів холоднодеформованих труб та їх механічних властивостей. Сучасна тенденція машинобудівної промисловості є зменшення маси готових труб при умові збереження, або і підвищенні їх механічних властивостей. Такі труби виробляють з метою економії палива, зменшення габаритів виробів та підвищення їх технічних характеристик. Усі ці вимоги мають значний вплив на технологічний процес виготовлення тонкостінних холоднокатаних труб.

Дипломна робота спрямована на отримання труби, що має розміри: зовнішній діаметр 10 мм, товщина 1,0 мм, довжина 6 м холодною деформацією.

1.2 Призначення тонкостінної труби

Тонкостінні труби широко використовуються в багатьох галузях народного господарства. В будівництві вони використовуються при встановленні зупиночних павільйонів, при спорудженні різних рекламних конструкцій, їх можливо використовувати при встановленні багатьох конструкцій та споруд, що не несуть на собі великого навантаження.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі труби мають відносно невеликий діаметр в порівнянні з довжиною. Вони можуть бути використанні в різних галузях народного господарства через свою міцність і легкість, універсальність та зручність.

Їх широко використовують в авіації для створення різних конструкцій, таких, як фюзеляжі, шасі тощо. Їх переваги у тому, що вони дозволяють створювати повітряні судна, що мають надійну міцність при мінімальній вазі, що збільшує ефективність роботи цього судна і економію палива.

Тонкостінні труби з успіхом використовують в морській промисловості для створення різних видів суднової архітектури таких як щогли, стійки тощо. Їх перевага у тому, що вони поряд з доброю міцністю мають і високу стійкість до корозії, що дозволяє їм успішно працювати в агресивних морських середовищах.

Тонкостінні труби широко використовують у нафтогазовій промисловості через те, що вони через свою високу міцність є відмінним матеріалом для транспортування та підтримки нафтогазових продуктів на великі відстані.

Також тонкостінні труби широко використовують у будівній промисловості для створення каркасів будівель, опорних елементів та несучих конструкцій, для побудови сходів та огорож. Легкість їх конструкцій полегшує виконання монтажних робіт. Вони мають достатню міцністю та довговічність.

Тонкостінні труби широко використовують в побуті для створення меблів, виготовлення предметів інтер'єру тощо.

Тонкостінні труби відносять до особливого виду металопродукції.

Такі вироби мають наступні переваги:

- досить не велика вага тонкостінних труб, що значно менша за товстостінні. Це явище полегшує їх транспортування і монтаж;
- тонкостінні труби мають не велику вартість і порівнянні з товстостінними трубами, що робить їх більш доступними та економічно вигідними;
- тонкостінні труби є більш гнучкі, як товстостінні. Це забезпечує можливість їх використання у тих конструкціях, де потрібна гнучкість;
- гнучкість. Тонкостінні труби легше гнуться, ніж товстостінні труби, що дозволяє використовувати їх у конструкціях, де потрібна гнучкість.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.3

До тонкостінних труб пред'являють високі вимоги до геометричних параметрів через те, що такі вироби часто встановлюють на відповідальних ділянках систем трубопроводів, така труба повинна відповідати високим вимогам відповідно до інтер'єрних, оздоблювальних, архітектурних показників. До тонкостінних труб пред'являють високі вимоги з точності поверхневого шару, форми, бочкоподібності, хвилястості, шорсткості поверхні, планшетності через те, що такі вироби можуть бути встановлено безпосередньо в офісних та житлових будівлях.

За формою тонкостінні труби частіше за усе виробляють циліндричної форми, але вони також можуть зустрічатися і квадратного, прямокутного, трикутного, шестикутного профілю тощо.

Прямокутні металеві труби з успіхом використовують у тому разі, коли потрібно декорувати приміщення будівлі, також їх можна широко використовувати для виготовлення меблів.

Останнім часом виготовляють труби, що мають ребра жорсткості через те, що вважається, що конструкція, яка має додаткові ребра жорсткості має стійку витривалість при зберіганні усіх інших своїх параметрів.

Тонкостінні труби виготовляють як зварними, так і безшовними.

Технологія виготовлення зварної труби відображено у в державному стандарті ГОСТ 10704-91, також при виготовленні тонкостінних труб користуються технічними умовами ТУ 14-105-737-2004. Вимоги до якості зварних тонкостінних труб можуть бути різними. У тому випадку, коли зварна металева тонкостінна труби виконана холодним прокатуванням з тонкого листа зазвичай має добру якість зовнішньої поверхні, низьку шорсткість, може бути витримані усі геометричні розміри: зовнішній діаметр, товщина стінки, довжина, але низька міцність зварного шва, що зменшує її витривалість і, відповідно строк служби. Така технологія має невелику вартість.

Якщо ж тонкостінну труби виготовляти з гарячекатаної труби холодною обробкою, то такий виріб буде мати доволі високу вартість через деякі складності в її виготовленні. Але такі труби будуть мати відмінну якість, міцність, стійкість

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до руйнувань, витривалість, надійність в роботі, що добре використовувати при великих навантаженнях. Такі труби використовують для створення транспортного та торгівельного обладнання, для створення меблів. Як правило, за технологією виготовлення зовнішня поверхня таких труб покривається декількома шарами спеціальної фарби, або зовнішня поверхня труби піддається гальванізації.

Для виготовлення таких труб використовують вуглецеві та леговані сталі. Дуже важливо, використовувати такий матеріал, склад якого відповідає державному стандарту ГОСТ 8734-78.

1.3 Матеріал для виготовлення тонкостінних труб

Для виготовлення тонкостінних труб в залежності від їх конкретного призначення використовують різні матеріали, такі як сталь, чавун, мідь, алюміній тощо залежить від умов їх експлуатації.

Для отримання труби з зовнішнім діаметром 10 мм для використання в будівництві обираємо леговану конструкційну сталь 18ХГТ. Це якісна хромомарганцева сталь, що має у своєму складі 0,18 відсотків вуглецю, хром, марганець, титан. Хімічний склад такого матеріалу наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу для виготовлення тонкостінної труби зовнішнім діаметром 10 мм

C	Cr	Ti	Si	Mn	Ni	Cu	S	P
0,17–0,20	1,0–1,3	0,03–0,09	0,17–0,37	0,8–1,0	до 0,3	до 0,3	до 0,035	до 0,035

Сталь 18ХГТ має наступні механічні властивості:

- границя міцності $\sigma_b = 980$ МПа;
- границя течії $\sigma_T = 730$ МПа;
- відносне подовження при розриві $\delta = 15$ %;
- відносне звуження $\psi = 55$ %;
- густина матеріалу 7800 кг/м³.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення якості даного матеріалу пропонується термічна обробка, яка полягає в його закалюванні при температурі 850⁰С, охолодження виконувати повільне з використанням мастила, відпущення при температурі 200⁰, охолодження в повітрі.

1.4 Загальні технологічні операції з виготовлення тонкостінної труби

Існує декілька способів виготовлення тонкостінних труб: зварні труби виготовляють електрозварюванням. Їх виготовляють з листової сталі, що згортають у трубу та зварюють по стику. Безшовні труби виготовляють холодною та гарячою деформацією.

Для виготовлення тонкостінної циліндричної труби, що має зовнішній діаметр 10 мм будемо використовувати спосіб холодної деформації. Такий вид обробки дозволить нам отримати трубу потрібних розмірів та якості.

Загальні технологічні операції з виготовлення тонкостінної труби холодною деформацією наступні:

- підготування початкового матеріалу; в якості вихідного матеріалу для холодної деформації можна використати гарячекатані труби, що отримують на автоматичних та напівбезперервних прокатних станах; також можливо використання труб, що отримані контактним зварюванням;

- огляд вихідної заготовки з метою виявлення дефектів;

- розрізання вихідної заготовки;

- термічна обробка матеріалу;

- видалення поверхневої окалини;

- холодне прокатування труби, що здійснюється на станах періодичної прокатки валкового (ХПТ) і роликового (ХПТР) типів;

- розрізання матеріалу;

- правка отриманої труби, що виконують на правильних пресах, де відбувається однократна правка або валкові правильні стани, де відбувається многократна правка; або правку виконують пружно-пластичним вигином і розтягінням.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.6

- термічна обробка;
- контроль;
- маркування, пакування.

Такі операції дозволяють отримати якісний профіль труби.

1.5 Валкова прокатка тонкостінної труби

Для виготовлення тонкостінних труб с успіхом використовується валкова прокатка, що здійснюється на валкових прокатних станах холодного прокатування.

Прокатні стани холодного прокатування роликового типу забезпечують отримання тонкостінних труб, що мають зовнішній діаметр від 4 мм до 450 мм та товщину стінки від 0,15 до 30 мм. Для прокатування у якості вихідного матеріалу можна використовувати як безшовну гарячекатану заготовку переважно з неіржавіючої сталі, так і зварні труби переважно з вуглецевої сталі.

Холодне прокатування тонкостінних труб на станах відбувається в прокатних валках, що мають калібри змінного поперечного перерізу. Такий спосіб прокатування нагадає пілігримове гаряче прокатування товстостінних труб. Але є деякі відмінності, які зосереджені у тому, що деформація металу та сплаву відбувається при нерухомій заготовці та зворотно-поступальному руху робочої кліті. Такий процес прокатування показано на рис. 1.2. На схемі видно, що процес прокатування має періодичний характер через те, що труба деформується окремими ділянками за її довжиною.

Для здійснення процесу прокатування на станах холодного прокатування використовують конічні оправки (рис. 1.2), де видно, що зазор між прокатними валками має кільцеву форму, робоча кліть має зворотно-поступовий рух при нерухомій оправці.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

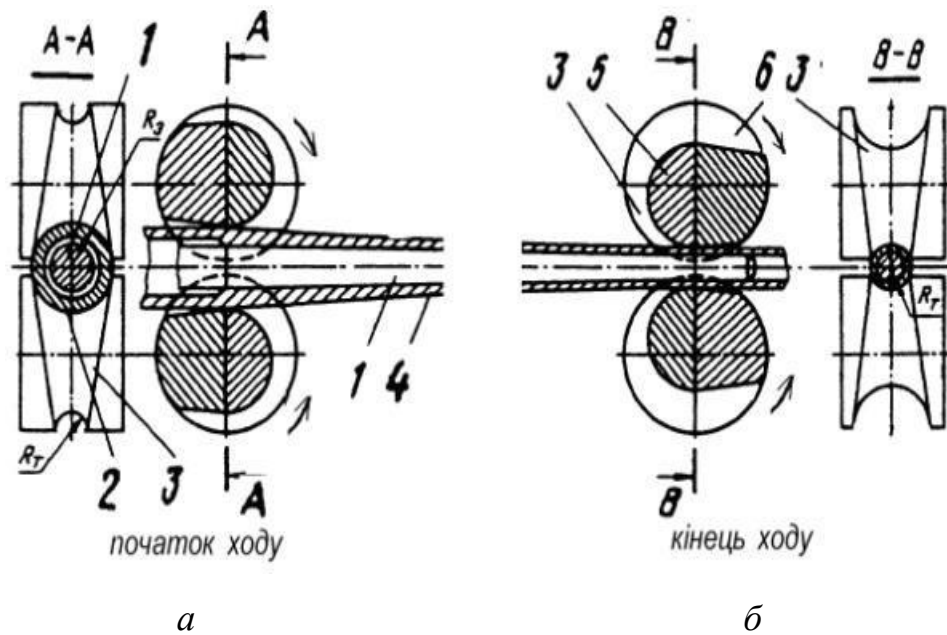


Рисунок 1.2 – Схема прокатки труб на стані холодного прокатування (робочий хід): *а* – початок робочого ходу кліті; *б* – кінець робочого ходу прокатної кліті; 1 – конічна оправка; 2 – кільцевий зазор; 3 – рівчак калібру; 4 – труба, що прокатується; 5 – калібр; 6 – робочі валки

Рівчак калібру прокатного валку стану холодного прокатування тонкостінної труби наведено на рис. 1.3, де видно, що він має особливу форму, яка складається з передньої холостої зони θ_1 , робочої зони θ_2 , що має змінний радіус калібру, калібрувальної зони θ_3 , що має постійний радіус і задньої холостої ділянки θ_4 .

Робоча ділянка прокатного калібру має початковий розмір рівний зовнішньому діаметру заготовки. Кінцевий розмір цієї ділянки та розмір калібрувальної ділянки дорівнюють розміру готової труби.

З рисунка з модна спостерігати процеси, що відбуваються в осередку деформації, де видно, що і вихідному положенні (рис. 1.3, *а*) за допомогою механізму подачі труба подається уперед на величину подачі m .

Труба здійснює робочий хід, в результаті чого стикається з калібром, де відбувається редукування за її діаметром до зіткнення з оправкою. Після цього розкатують стінку труби на оправці, як показано на рис. 1.3, *б*. далі, отримана

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш 1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

труба переходить до калібрувальної ділянки, де і відбувається її остаточне калібрування за діаметром.

На рисунку 1.3, в показано, як труба виходить з контакту з прокатним валком. Далі відповідним механізмом отриманий виріб повертається разом з оправкою навколо своєї осі на кут, що дорівнює 60- 90°. Далі здійснюється зворотній хід прокатної кліті під час якого труба додатково розкатується в результаті чого отримує вірну циліндричну форму і звільнюється від оправки. При цьому виді обробки труба отримує обтиснення за один прохід на 75- 90% .

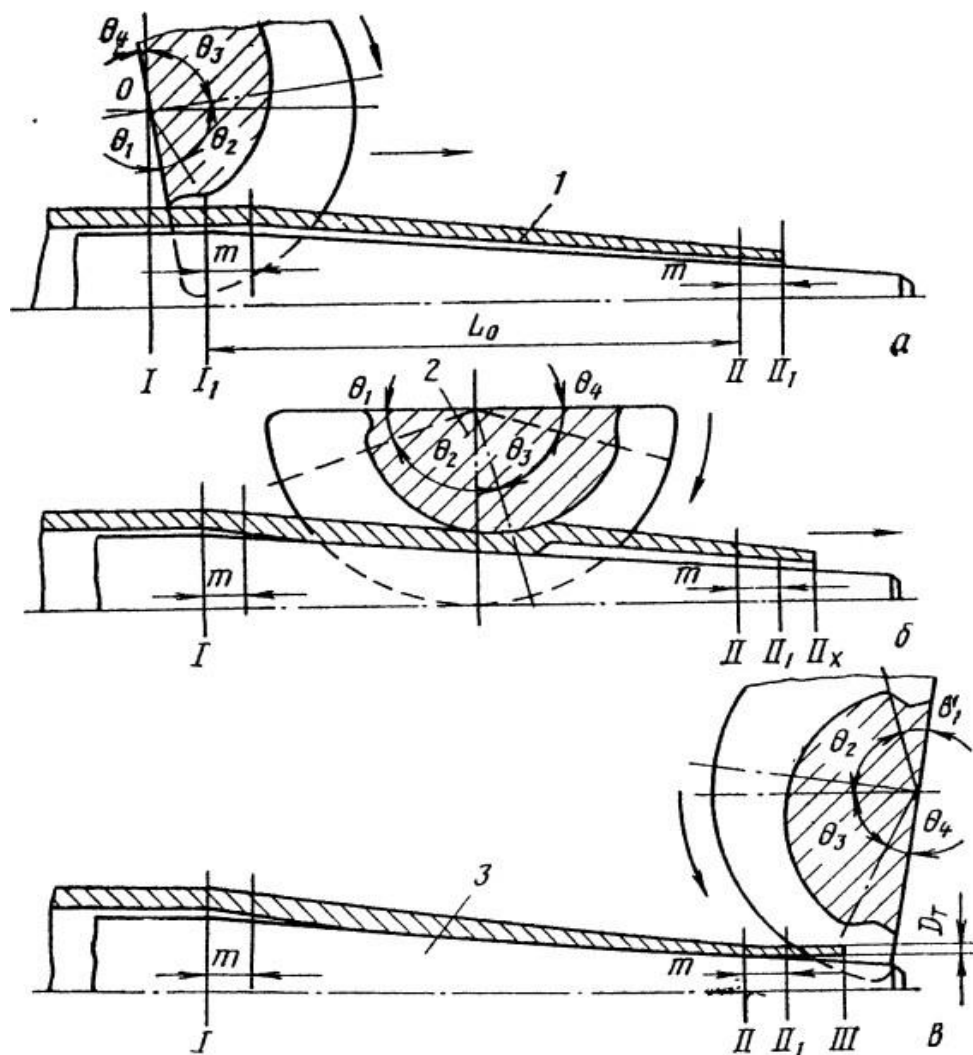


Рисунок 1.3 – Осередок деформації при холодному прокатуванні труби на різних стадіях робочого ходу: перед прокаткою (а), під час прокатки (б), наприкінці прокатки (в); 1 – заготовка; 2 – калібр змінного перерізу; 3 – оправка

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для позначення станів холодного прокатування використовують класифікацію, переважно, за максимальним діаметром отриманих труб, наприклад: ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-75, ХПТ-90, ХПТ-90П, ХПТ-120, ХПТ-120П, ХПТ-250 і ХПТ-450. В цій класифікації букви ХПТ – означають холодне прокатування труби, а цифри – максимальний діаметр труби, що можна отримати на даному стані холодного прокатування.

Стани ХПТ-90П и ХПТ-120П – це ті стани, що дозволяють отримати трубу змінного поперечного перерізу.

Стан холодного прокатування труби складається з декількох вузлів: приводу, кривошипно-шатунного механізму, робочої кліті, розподільчо-подавального механізму, механізму відведення гільзи, приймальний стіл та стіл видачі готового прокату.

На рисунку 1.4, а наведено план розташування обладнання стану холодного прокатування труби, де відбувається бічне завантаження початкового матеріалу. Технологія виготовлення труб на цьому стані складається з наступних операцій: пакет заготовок за допомогою вантажного крану завантажують на приймальний стіл, де вони розподіляться в один ряд за допомогою дозаторів та передаються на лінію прокатування. При передачі матеріалу патрон заготовки та патрон стрижня знаходяться у крайньому задньому положенні. Заготовка центрується за допомогою люнетів. Після цього вмикається привід патрону стрижня оправки, яка здійснює просування крізь заготовки і встановлюється у вихідне положення у зоні руху робочої кліті. Після цього вмикається головний привід прокатного стану, виконуючи зворотньо-поступовий рух робочій кліті та переривчастий рух патрону подачі та рух заготовки за допомогою механізмів подачі та обертання.

Прокатування труби здійснюється до тих пір, поки заготовки не здійснить переміщення у своє крайнє положення. В цей час холодний привід прокатного стану відключається, а патрон заготовки і стрижня оправки повертаються у вихідне положення, тобто крайнє заднє положення. Цим самим вони звільняють місце для розташування чергової заготовки. Дали цикл прокатування

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повторюється. Готові труби розрізають за допомогою летючої пили на мірні довжини і укладають на стіл готових труб. Далі виконуються огляд та контроль готових труб на столі, клеймування, пакування.

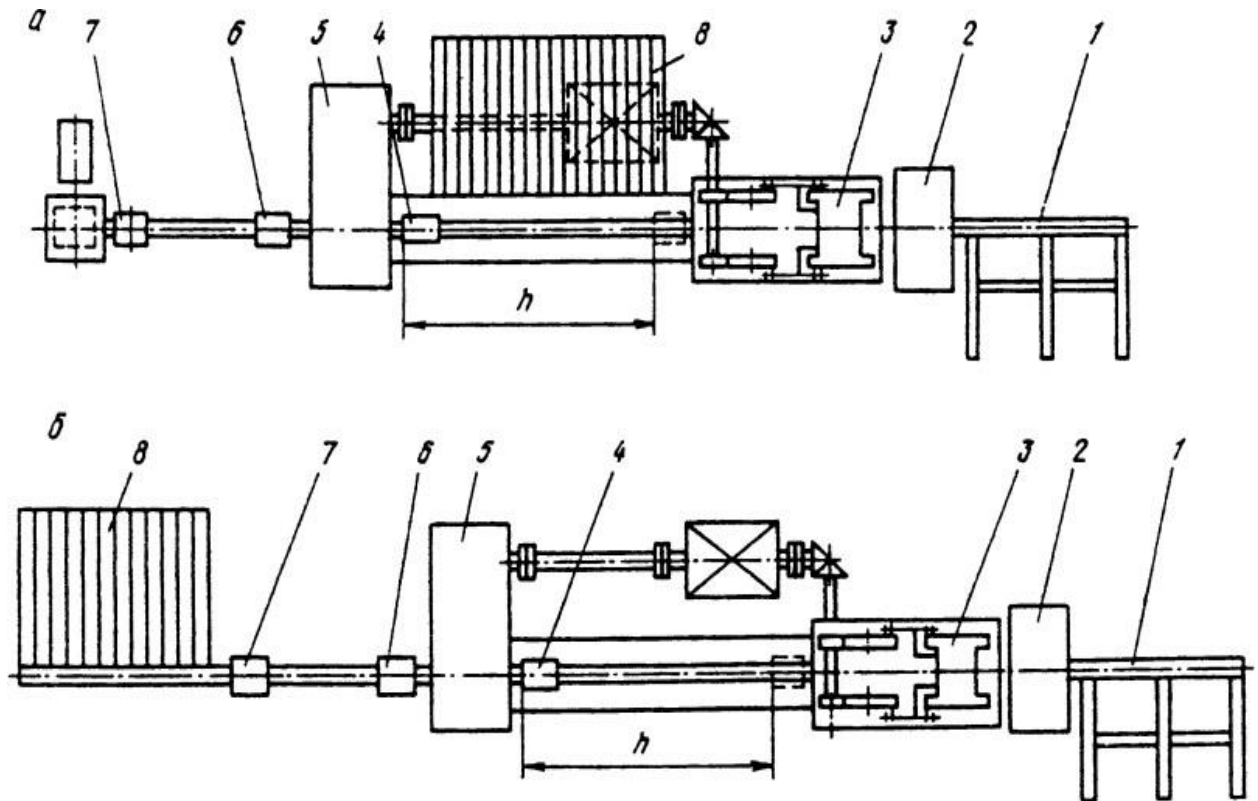


Рисунок 1.4 – Схеми розташування устаткування станів холодної прокатки труб з бічним (а) і торцевим (б) завантаженням заготовок: 1 – готова труба; 2 – летуча пила; 3 – робоча кліть; 4 – патрон заготовки; 5 – привід патрону стрижня оправки; 6 – патрон стрижня; 7 – відкритий затискач стрижня; 8 – приймальний стіл

Перевага бічного завантаження стана холодного прокатування у тому, що є можливість візуального контролю стану поверхні оправки під час перезарядження заготовок. Але є і недолік у цієї схеми прокатування.

У випадку прокатування труб на станах холодного прокатування з бічним завантаженням є необхідність його зупинки для перезарядження черговими заготовками. Такі зупинки зумовлюють зменшення продуктивності роботи прокатного стану і порушення теплового режиму процесу прокатування, що має

негативний вплив на якість отриманий труб та і на якість самого технологічного процесу.

На рисунку 1.4, б наведено схему торцевого завантаження заготовок, де видно, що початкові заготовки розміщують наприкінці столу для завантаження. Стрижень оправки затискається між двома затискачами, що працюють по чергово.

Заготовку поставляють на вісь прокатки, де вона просувається через відкритий затискач стрижня за допомогою подавальних роликів, або будь якими транспортуючими засобами. Після проходження заготовки через затискач, останній автоматично закривається і відкривається наступний затискач і заготовка просувається до упору в суміжну трубу, що прокатується. Далі відбувається захоплення патроном нову заготовку та цикл повторюється.

При торцевому завантаженні заготовок відпадає необхідність в відведенні стрижня оправки, що дозволяє скоротити час зупинки прокатного стану при перезавантаженні заготовок в порівнянні з бічним завантаженням. Таке скорочення часу відбувається за рахунок зменшення кількості операцій.

За конструкцією стани холодного прокатування труб – це двовалковий трубопрокатний стан періодичної дії. В цьому прокатному стані робоча кліть під час прокатування здійснює зворотно-поступальний рух заа допомогою кривошипно-шатунного механізму. При цьому робочі валки виконують зворотно-обертальний рух.

Робочі кліті таких прокатних станів у своєму складі можуть мати рухливу або нерухливу станину. Але в більшості випадків зустрічаються прокатні кліті з рухливими станинами. У тому випадку, коли робочі кліті мають велику робочу масу, що присутнє станам великих типорозмірів з багатонитковими робочими клітями використовують нерухливі станини, що мають обертові робочі прокатні валки.

На рисунку 1.5 показано схему робочої кліті стану холодного прокатування труби з рухливою станиною.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

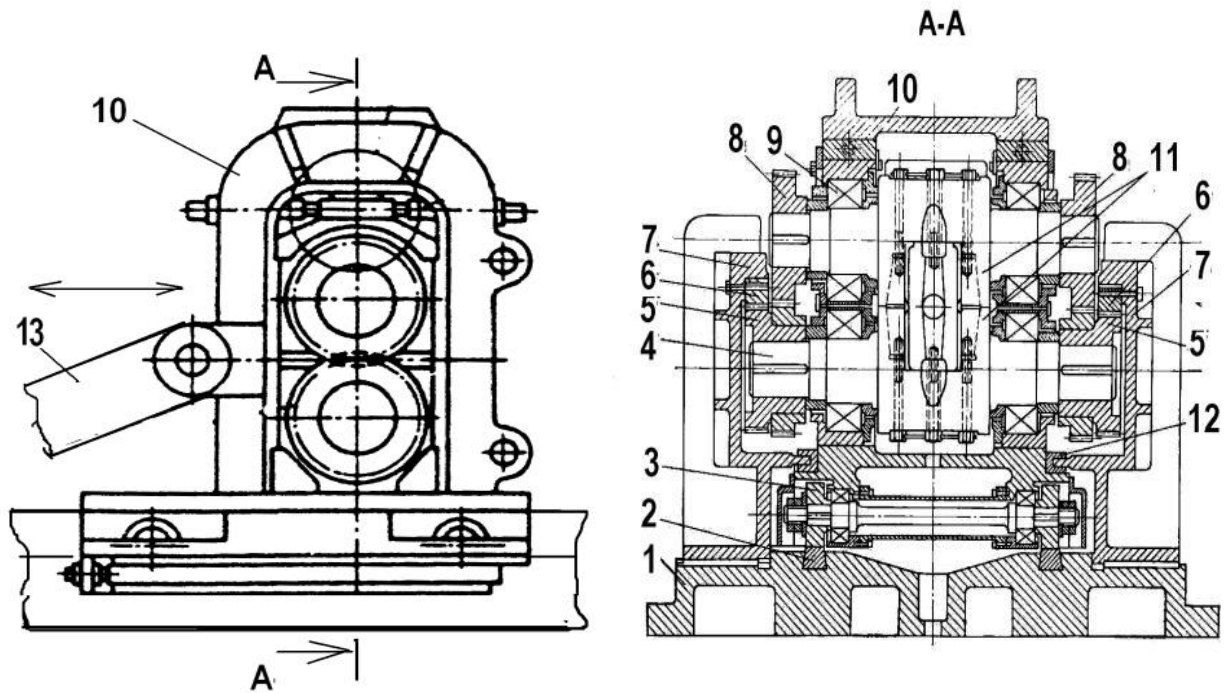


Рисунок 1.5 – Робоча кліть стану холодного прокатування труби з рухливою станиною: 1 – рама; 2 – брус; 3 – ролик; 4 – шпindelь; 5 – шестерня; 6 – зубчасті рейки; 7 – припливи напрямної; 8 – зачеплення; 9 – підшипники; 10 – станина рамного типу; 11 – робочі валки; 12 – планки; 13 – ричаг

З рисунку видно, що робоча кліть має жорстку сталеву станину рамного типу з двома нижніми приливами. В цих приливах на підшипниках змонтовано ролики, які опираються на бруси, що закріплені у пазах нижньої опорної рами. Ця опорна рама кріпиться за допомогою болтів до фундаменту. До обох бічних приливів на станині шарнірно приєднуються шатуни кривошипно-шатунного механізму. За допомогою цього механізму робоча кліть виконує зворотно-поступальний рух по брусах на роликах. Робоча кліть має два прокатних валки, які встановлено на чотирирядних роликових підшипниках.

Обидва прокатні валки пов'язані між собою двома парами однакових зубчастих коліс, що встановлено на кінцях. Нижні прокатні валки мають шийки на яких закріплено зубчасті шестерні, що знаходяться у зачепленні з зубчастими рейками. Ці рейки нерухомо закріплені в приливах напрямної рами прокатної

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.13

кліті.

Під час переміщення робочої кліті стану холодного прокатування, шестеренні кліті перекачуються по нерухомих рейках та приводять у обертання нижній прокатний валок, який за допомогою зачеплення приводить у обертання і верхній прокатний валок. Таким чином здійснюється синхронний поворот обох прокатних валків, що забезпечує точне положення калібрів. Таке положення прокатних валків залежить від величини переміщення робочої кліті прокатного стану. Такий принцип дії вказує на те, що прокатні валки не мають власного приводу, а приводяться в рух за рахунок руху робочої кліті прокатного стану. З тією метою, щоб унеможливити перекус кліті при її русі, до напрямних її рами прикріплені напрямні планки, які забезпечують надійність роботи.

Прокатні валки станів холодного прокатування труб мають спеціальні калібри, у яких здійснюється обтиснення (рис. 1.6). Такі калібри виготовляють з шарикопідшипникової сталі ШХ15 або легованої 60ХФА. Для підвищення поверхневої твердості калібрів виконують термічну обробку, що дозволяє досягти твердості не менше за 55...65 HRC. Самі ж робочі валки виготовляють з легованої салі 30ХГСА і виконують термічну обробку з метою досягти твердості 250..320 HB.

З рисунка 1.6, *а* видно, що напівдискові калібри встановлено у пазах робочих валків. За допомогою болтів надійно фіксують калібри у пазах прокатних валків. Калібр має форми напівдиску і займає половину окружності валка. Це дозволяє обмежити довжину його ходу. Продуктивність прокатного стану залежить від кількості робочих ходів прокатної кліті. Тому, доцільно щоб маса прокатної кліті була мінімальною, і довжина ходу максимальною. Для збільшення продуктивності, потрібно прагнути до збільшення зони деформації, але без збільшення радіусу прокатних валків. Таке прагнення дозволило створити кільцеві калібри (рис. 1.6, *б*), що дозволяють максимально підвищити продуктивність процесу.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

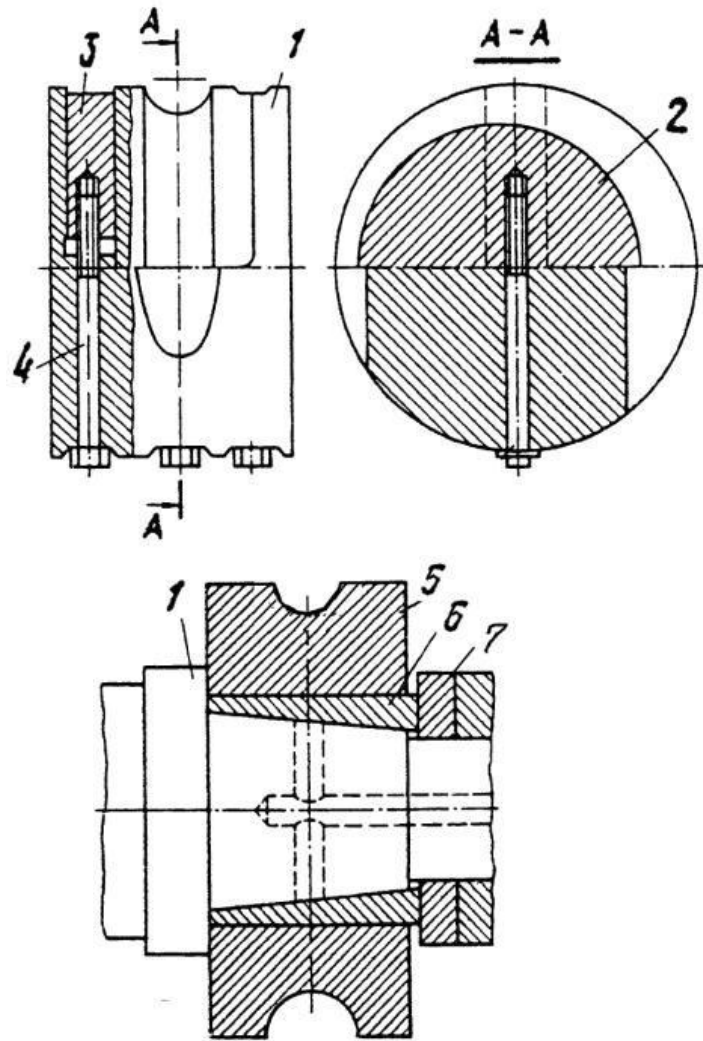


Рисунок 1.6 – Валки станів ХПТ: напівдисковий (а) та кільцевий (б);
 1 – валок, 2 – змінний калібр, 3 – клин, 4 – болт, 5 – кільцевий калібр;
 6 – втулка; 7 – гайка

Перевага кільцевих калібрів у тому, що вони дозволяють практично вдвічі збільшити зону деформації та легко можна виготовити. Але для їх заміни потрібен повний демонтаж робочих валків. Калібр виглядає як бандаж, який попередньо монтується на втулці, потім у зборі, разом зі втулкою встановлюється на конічну ділянку прокатного валку та фіксується за допомогою гайки. Таку заміну калібрів виконують на спеціальному стенді і стан комплектують двома змінними прокатними клітьми.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Застосування врівноважуючих пристроїв на станах холодного прокатування труби дозволяє зменшити інерційні сили. Існують наступні типи врівноважуючих механізмів: пружинні, вантажні, пневматичні та пневмогідролічні.

На рисунку 1.7, *а* наведено кінематичну схему вантажного врівноваження інерційних сил. Спосіб врівноваження заснований на тому, що використовуються врівноважуючі вантажі, що приводяться рух разом з робочою кліттю від колінчастого валу, що одержує обертання від головного приводу. Під час зупинки робочої кліті в крайньому положенні врівноважуючі вантажі мають максимальну швидкість. Таке явище дає можливість суттєво зменшити динамічні навантаження, а швидкість прокатування збільшити.

При пружинному врівноваженні, яке показано на рисунку 1.7, *б*, кінетична енергія руху кліті переходить у потенційну енергію стиснутої пружини. Таке врівноваження має не велику ефективність через те, що відбувається швидке зношення пружин, здійснюються робочі ходи великої довжини, виникають ускладнення в регулюванні механізму.

На рисунку 1.7, *в* наведено пневмогідролічний пристрій, який врівноважує динамічні навантаження в робочій кліті за допомогою гідроциліндра. В цьому гідроциліндрі рухається поршень, що з'єднується з робочою кліттю. Гідроциліндр має ліву і праву порожнини, що з'єднані з двома газовими акумуляторами. Коли робоча кліть здійснює рух до крайнього положення її кінетична енергія переходить в енергію стиснутого газу в одному з акумуляторів. Кліть повертається в середнє положення. При цьому енергія стисненого газу сприяє руху кліті з великою швидкістю. Робоча кліть здійснює зворотно-поступальний рух від електричного двигуна за допомогою шатунів.

Існують і інші конструкції станів холодного прокатування труб: з нерухомою станиною та рухливим валковим вузлом у касеті, яка виконує зворотно-поступальний рух; з нерухомою кліттю, яка ні чим не відрізняється від конструктивного виконання звичайної робочої кліті трубопрокатного стану гарячого прокатування; кліті, що мають опорні прокатні валки; багатониткові

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.16

прокатні кліті, на яких існує можливість одночасного прокатування до трьох труб в прокатних калібрах.

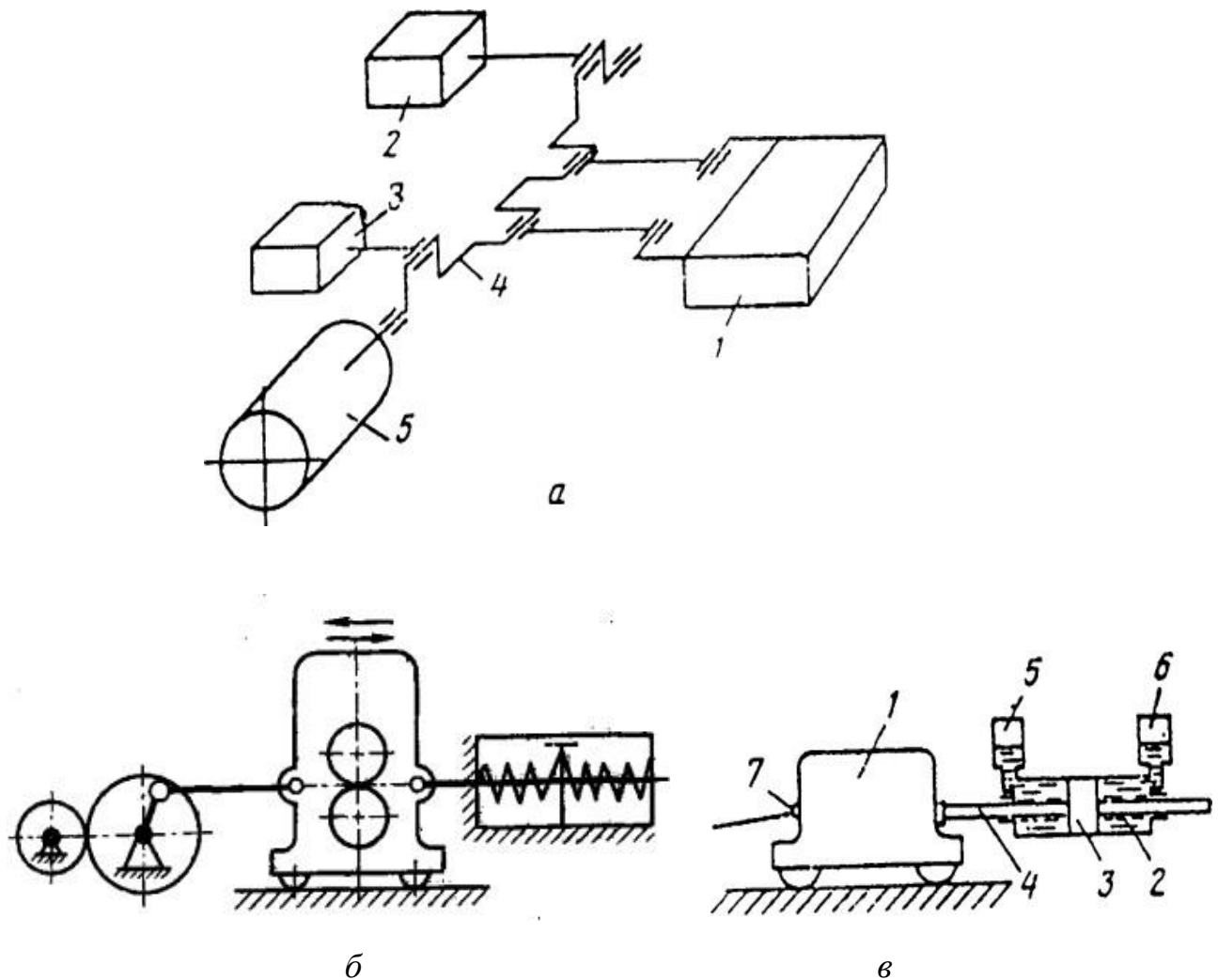


Рисунок 1.7 – Врівноваження робочих клітей холодного прокатування труб: вантажний тип (а), пружинний тип (б), пневмогідравлічний тип (в);

1 – робоча кліть; 2 – гідроциліндр; 3 – плунжер; 4 – шток;

5, 6 – акумулятори; 7 – шатун

1.6 Роликові стани холодної прокатки труб

Роликові стани холодного прокатування труб відносять до санів періодичної дії. Вони призначені для отримання особливо тонких труб, що мають зовнішній діаметр від 4 мм до 120 мм і товщину від 0,03 до 3 мм. При прокатуванні на таких станах існує можливість здійснити за один прохід

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.17

загальну деформацію від 80 до 85 %. Така деформація відбувається переважно за рахунок зменшення товщини стінки. За зовнішнім діаметром труба може бути зменшена на 2...4 мм. Роликові стани холодного прокатування труб дозволяють отримати вироби з точними розмірами, що мають високий клас точності (від 4 до 6 клас точності), дуже низьку шорсткість поверхні труби. Такі труби мають малі допуски по величині стінки.

До складу устаткування роликових станів холодного прокатування (рис. 1.8) входять робоча кліть, яка встановлюється на напрямні рами, привід прокатного стану, стіл для приймання заготовок та стіл для видачі готових труб, механізмів подачі, завантаження та повертання заготовок. Для приведення в дію прокатну кліть застосовують електродвигун постійного струму з кривошипно-шатунним механізмом.

Заготовці надається переривчастий рух. Для цього служить механізм подачі та повороту з трансмісійним валом. Під час прокатування використовується циліндрична оправка.

Робоча кліть роликового стану холодного прокатування показана на рис. 8. Ця кліть має у своєму складі товстостінну втулку-станину, яка сприймає сили прокатування. Опорні планки з похилим профілем встановлено в середину товстостінної втулки. По таким планкам перекочуються шийки робочих роликів. Бочки роликів здійснюють обтиснення труби, яка знаходиться на оправці.

Втулка змонтована в каретці візка, який здійснює зворотно-поступальний рух за допомогою кривошипно-шатунного механізму разом з напрямними планками.

З протилежного боку знаходиться каретка, яка зв'язана тягами з важільними кулісами. Такі куліси закріплено одним кінцем на нерухомій осі. Навколо цієї осі він виконує хитний рух під дією зворотно-поступального руху каретки.

У сепараторі розміщено три ролики під кутом 120° . Це дає можливість здійснювати їх осьове переміщення всередині втулки. Сепаратор з'єднується з важелями-кулісами за допомогою тяг, які розміщено з боків від труби з

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оправкою. Ролики переміщуються по похилим поверхням планок (рис. 1.8) та виконують обтиснення труби на оправці.

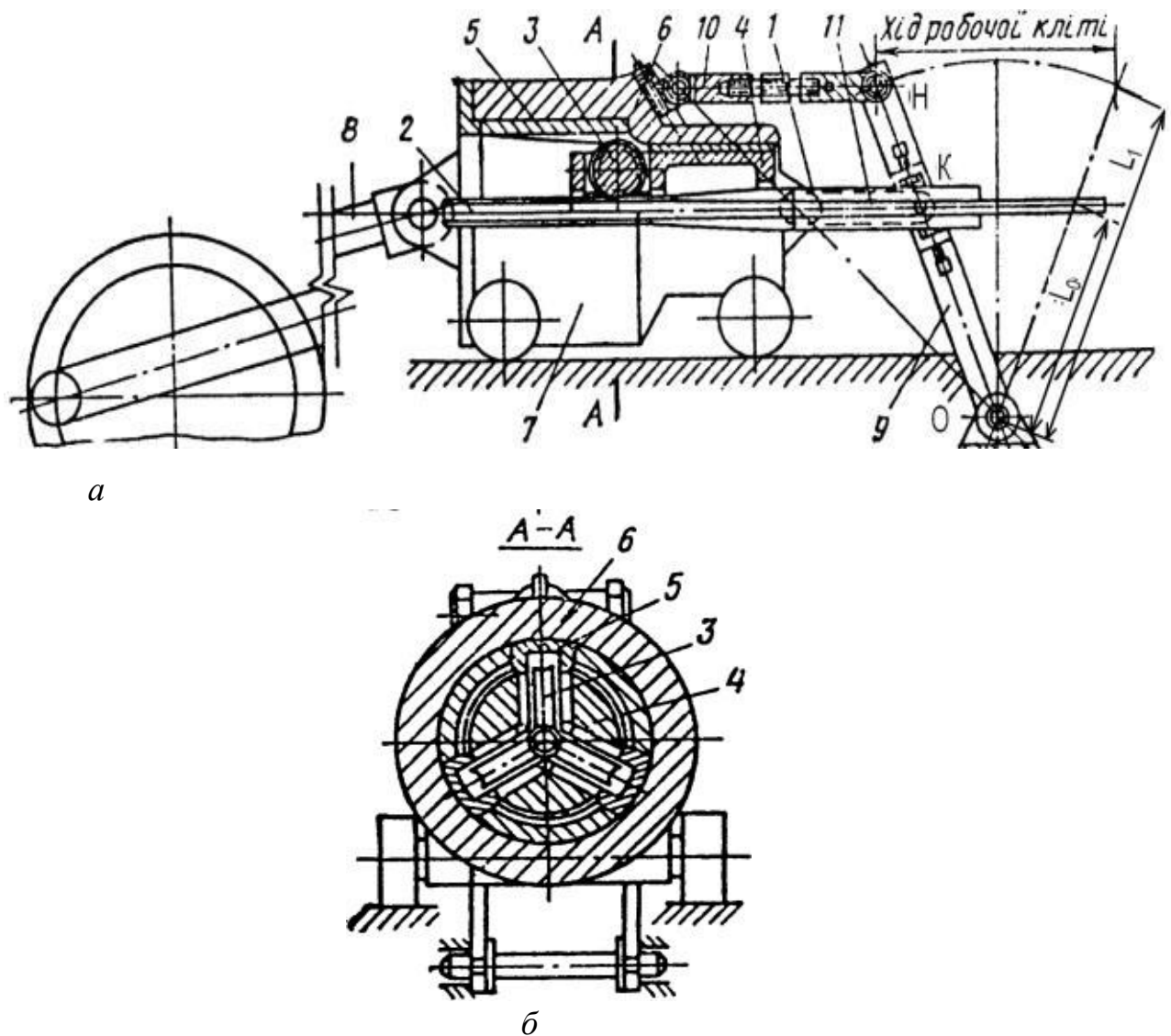


Рисунок 1.8 – Робоча кліть стану ХПТР: поздовжній розріз (а), поперечний переріз (б): 1 – труба; 2 – циліндрична оправка; 3 – ролики; 4 – сепаратор; 5 – планки; 6 – втулка каретки; 7 – візок; 8 – кривошипно-шатунний механізм; 9 – важіль

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Сепаратор переміщується з тією ж швидкістю, що і ролики через те, що ролики розміщують у сепараторі. У випадку появи різниці у цих швидкостях від відхилення процесу прокатування від стабільної течії. У цьому випадку початкова заготовка може бути зміщена з оправки, що є небажаним явищем через те, що на поверхні труби можуть з'явитися дефекти. Через це, при конструюванні станів роликової холодної прокатки труби особливу увагу приділяють кінематичному узгодженню рухів у осередку деформації під час обробки.

Необхідно досягати потрібного співвідношення швидкостей сепаратора V_c та швидкості прокатної кліті $V_{кл}$.

Таке співвідношення досягається за допомогою двоплецевого важеля за рахунок того, що більше плече під'єднано до робочої кліті прокатного стану, а менше до сепаратору. Важель має вісь хитання, яка закріплена на рамі прокатного стану. Співвідношення швидкості сепаратору до швидкості робочої кліті може змінюватися завдяки переміщенню точки К, що розташована на важелі. Співвідношення дорівнює: $V_c/V_{кл} = OK/ОН = L_0/L_1$.

Початкова труба подається в прокатні валки за допомогою подавального апарату під час кожного циклу і повертається на певний кут. Для цього використовується механізм подачі та повертання заготовки, що забезпечує такі операції у певний час при крайніх положеннях прокатної кліті.

Високу точність величини подачі при прокатуванні труб на стані холодного прокатування і кута повертання механізму обробки використовують мальтійський хрест, схему якого наведено на рисунку 1.9. Такий мальтійський хрест використовується як перетворювач безперервного обертання в перервне при переході до зворотного руху прокатної кліті. Мальтійський хрест здійснює періодичне повертання шестипазового веденого диску 1 на кут, що дорівнює 60° . Таке повертання забезпечує палець 2, який встановлено на кривошипному ведучому валу при його повороті на кут, що дорівнює 120° . При повертанні далі, на 240° кривошип припиняє взаємодію з веденим диском, що забезпечує йому нерухомість.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

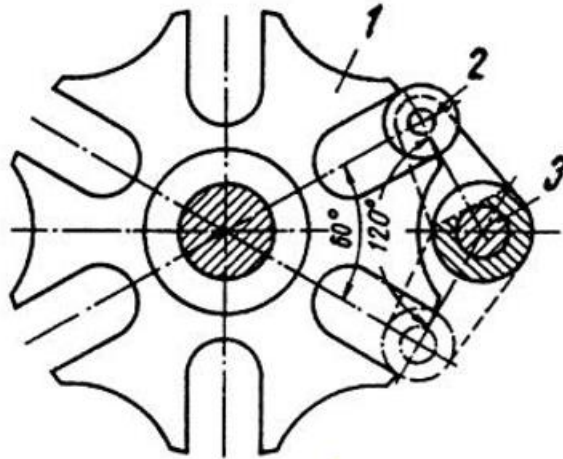


Рисунок 1.9 – Мальтійський хрест подавального апарата:

1 – ведений диск; 2 – палець; 3 – ведучий диск

На рисунку 1.10 наведено схему механізму подачі та повертання для для роликового стану холодного прокатування труб.

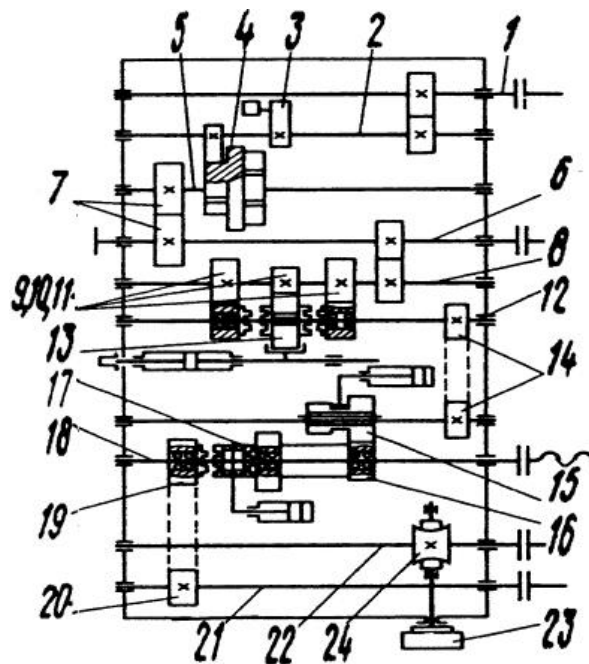


Рисунок 1.10 – Кінематична схема подавального апарата ХПТР:

1 – трансмісійний вал; 2 – вал; 3 – кривошип мальтійського хреста;
 4 – шестипазовий диск; 5 – вал; 6 – заготовка; 7 – зубчаста передача; 8 – вал;
 9, 10, 11 – шестерні; 12 – муфта; 13 – муфта; 14, 15, 16 – шестерні; 17 – муфта;
 18, 19, 20 – шестерні; 21, 22 – вал; 23 – гідродвигун; 24 – черв'ячна пара

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З наведеної схеми видно, що обертання від приводу робочої через трансмісійний вал 1 надходить на вал 2, де і встановлено кривошип 3, що належить до мальтійського хреста. З метою злагодженої роботи механізму, потрібно щоб частота обертання кривошипного валу відповідала кількості подвійних ходів робочої кліті за одну хвилину. Під час подачі та повертання початкового матеріалу кривошип приводить в рух шестипазовий диск 4, в результаті чого здійснюється повертання валу 5 на кут 60° .

Зубчаста передачі 7 приводить до обертання вихідну заготовку, що знаходиться на валу. Передавальне відношення зубчастої передачі визначається необхідним кутом початкової трубної заготовки.

Обертання передається від валу на гвинт подачі за допомогою однієї з шестерен 9-11 на вал 8 за допомогою перемикаючої муфти 13. Після цього за допомогою зубчастої пари 14 забезпечується передача обертання блоку 15 та 16. Така конструкція дозволяє за допомогою перемикаючої муфти 13 блоків 15 і 16 забезпечити шість різних за величиною подач початкового матеріалу.

Під час нормальної роботи стана холодного прокатування муфта перемикаючої 17 з'єднує вал 18 з шестернями, що знаходяться в блоці 16. Прискорене обертання гвинта подачі забезпечується за допомогою перемикаючої муфти 17, при цьому гвинт подачі з'єднується з валом 21 приводу прискореного ходу через шестерні 19 і 20. Вал затискача 22 початкової труби в патроні подачі забезпечує обертання, що передається від гідродвигуна 23 через черв'ячну пару 24.

Окрім розглянутих конструкцій для отримання тонкостінних труб холодною деформацією використовують тривалкові прокатні стани поперечно-гвинтового прокатування, стани холодного прокатування труб з послідовним безперервним розташуванням прокатних клітей, комбіновані хитно-роликові стани, які не отримали широкого розповсюдження та мало користуються попитом.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.01.АВТТ	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТОНКОСТІННОЇ ТРУБИ

2.1 Послідовність основних технологічних операцій при холодному прокатуванні труби

Технологічний процес виготовлення тонкостінної труби холодною деформацією складається з наступних основних операцій.

1) Підготування вихідного матеріалу до обробки. В якості вихідного матеріалу для холодної деформації можна використати гарячекатані труби, що отримують на автоматичних прокатних станах; такі заготовки поставляють без механічної обробки з протравленою поверхнею..

2) Огляд вихідної заготовки на стелажах з метою виявлення та знешкодження дефектів, зачищення.

3) Обрізання вихідного матеріалу: нарізка заготовок на відрізки мірної довжини.

4) У випадку використання легованих матеріалів виконується їх термічна обробка – відпалення у печах.

5) Хімічна обробка матеріалу, що дозволяє видалити окалину та іржу з поверхні матеріалу. З цією метою для вуглецевих сталей використовують розчини сірчаної кислоти, для легованих розчин їдкого натру з окиснювачем NaNO_3 . По закінченню процесу травлення потрібно заготовки промити теплою водою у ванні, далі відбувається промивка струменем холодної води під тиском.

6) Заготовки збирають у пакеті та піддають травленню у ванні, промивання їх. Після чого заготовки піддають нейтралізації у лужному розчині.

7) Сушіння заготовок у печі. Сушіння матеріалу при температурі $150-180^\circ\text{C}$ протягом 20-30 хвилин.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТОНКОСТІННОЇ ТРУБИ			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лещенко									
Перевірив	Бабошко								2.1	22
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр МТ-21-1		
Н. контр.	Бабошко									
Затвердив	Савельєв									

8) Огляд отриманого матеріалу на стелажі з метою виявлення дефектів.

9) Змащення трубною заготовки або нанесення антифрикційного покриття, що забезпечує зменшення витрат на тертя.

10) Холодне прокатування. Холодну прокатку труб здійснюють на станах періодичної прокатки валкового (ХПТ) і роликового (ХПТР) типів. Під час прокатування відбувається зменшення товщини стінок виробів і в той же час, збільшується довжина розкату.

11) Розрізання на мірні довжини. З цією метою використовують пили з зубчастими ножами через виску продуктивність. Але при розрізанні тонкостінної труби є можливість її вгинання.

12) Відділочні операції до яких відносять операції правки, що дозволяють уникнути відхилень труби від прямолінійності в поздовжньому напрямку, уникнути її кривизни, виправлення овальності. Такі операції виконують на правильних пресах, де відбувається однократна правка або валкові правильні стани, де відбувається многократна правка. Також виконують правку пружно-пластичним вигином і розтягінням.

13) Термічна обробка. Відпалення з метою зняття наклепу. Відпущення, яке полягає в нагріванні до температури, яка на 50 градусів вища температур рекристалізації з подальшим поступовим охолодженням з метою зняття накопичених внутрішніх напружень матеріалу, збільшення в'язкості та пластичності.

14) Контрольні операції. Контролюються розміри отриманої труби та їх відхилення, твердість, міцність. Контроль може бути 100 % - вий і вибірковий.

15) Маркування, пакування труби

Використовуючи перелічені операції дозволять виготовляти якісні тонкостінні труби, які будуть надійні в експлуатації, задовільнять усі необхідні потреби народного господарства.

Послідовність основних технологічних операцій при прокатуванні на валковому стані холодного прокатування тонкостінної труби прокатування наведено на рис. 2.1.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.2

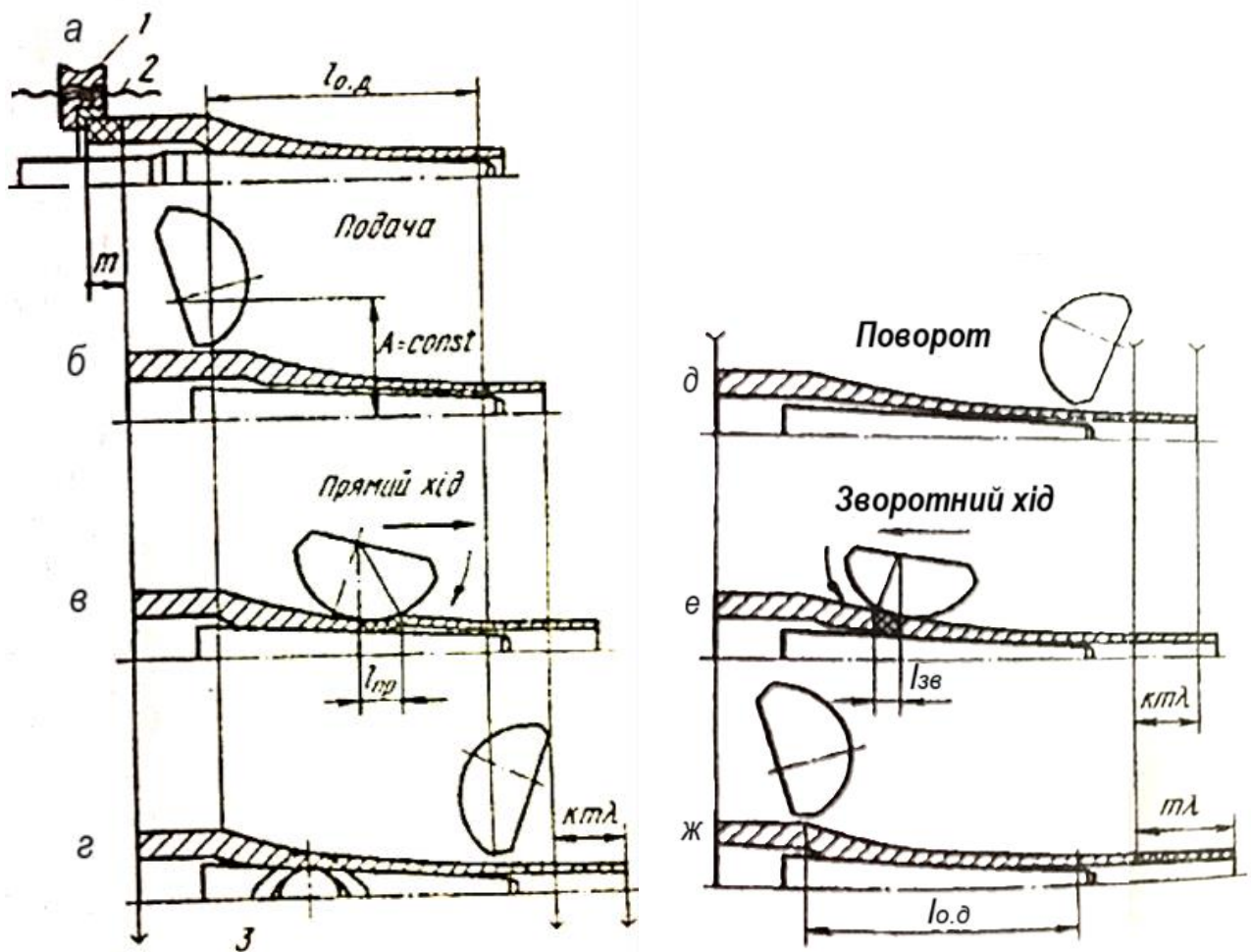


Рисунок 2.1 – Послідовність технологічних операцій на стані холодного прокатування труб: *а* – початкове положення матеріалу перед подвійним ходом кліті; *б* – взаємодія заготовки та інструменту після подачі; *в* – прямий хід при прокатуванні; *г* – утворення осередку деформації після прямого ходу;

д – поворот; *е* – зворотній хід; *ж* – положення матеріалу і інструменту після зворотного ходу; *1* – патрон заготовки; *2* – гвинт подачі; $l_{пр}$ – довжина осередку деформації при прямому ході; $l_{зв}$ – довжина осередку деформації при зворотному ході; $к т л$ – лінійне зміщення при прямому ході;

$т л$ – зміщення за подвійний хід кліті

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таким чином, як видно з рис. 2.1 створюється певний цикл, що складається з наступних операцій:

- 1) встановлення трубної заготовки в патрон;
- 2) подача матеріалу;
- 3) прямий хід;
- 4) поворот;
- 5) зворотній хід.

Далі заготовка повертається в початкове положення та цикл повторюється.

Під час прокатування створюється миттєвий осередок деформації, який постійно змінюється.

Потрібно зауважити, що при виготовленні тонкостінної труби на стані холодного прокатування завдяки спеціальній конфігурації прокатних валків утворюється миттєвий осередок деформації, де відбувається в початковий момент зменшення діаметру труби і збільшення товщини стінки. Далі внутрішня поверхня труби стикається з оправкою, після чого відбувається і обтиснення стінки, в результаті чого її товщина зменшується. За певний проміжок часу змінюється форма поперечного перерізу труби по довжині ходу робочої кліті. Таким чином утворюється сумарний осередок деформації, який має назву робочого конусу (рис. 2.2).

На рисунку 2.2 видно, що у поперечному перерізі рівчака калібру біля вершини розташовано зону, що створено частинами двох кіл, а біля зазору наведеного калібру мають зони, які створюються оправкою та лініями випусків калібру. Також показано, що осередок деформації складається з 4 зон: зони редукування; зони обтиснення; зони калібрування стінки та зони калібрування діаметру.

Під час прокатування здійснюється обтиснення труби між калібрами прокатних валків та оправкою, також здійснюється повертання труби разом з оправкою навколо її осі на певний кут [19, 20]. Такі дії дають можливість ділянкам труби, що знаходиться у випусках та у вершинах калібру піддаватися почерговій деформації.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

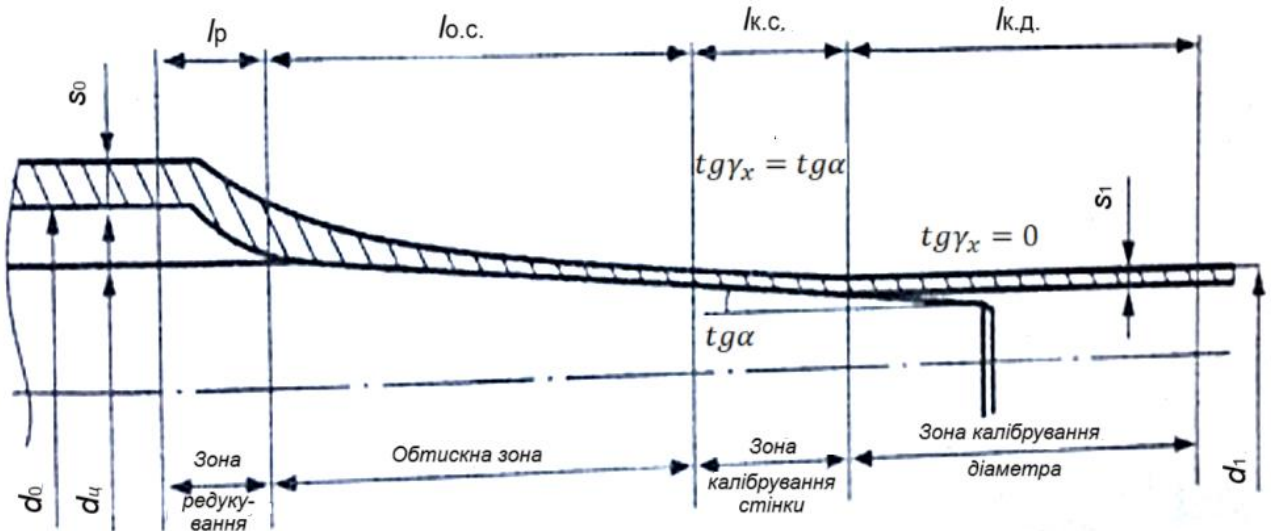


Рисунок 2.2 – Поздовжній переріз осередку деформації

При холодному прокатуванні кожний поперечний переріз робочого конусу деформується декілька разів. Цей процес має назву дрібності деформації, яка визначається за формулою:

$$n = \frac{3l_{\text{оп}}}{m(1+2\mu_{\Sigma})}, \quad (2.1)$$

де $l_{\text{оп}}$ – довжина робочої зони оправки; $l_{\text{оп}} = 235$ мм;

μ_{Σ} – сумарна витяжка при прокатуванні;

m – величина подачі.

Сумарна витяжка представляє собою відношення площі поперечного перерізу виробу до обтиснення до площі поперечного перерізу виробу після обтиснення, що можна виразити формулою;

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_0}{F_k}, \quad (2.2)$$

де F_0 – площа поперечного перерізу початкового матеріалу, що визначається за формулою:

$$F_0 = \pi(r_{0з}^2 - r_{0вн}^2);$$

де r_0 – зовнішній радіус труби, що задається до прокатного валка;

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$r_{0\text{ВН}}$ – внутрішній радіус труби, що задається до прокатного валка.

F_T – площа поперечного перерізу готової труби, що знаходиться за формулою:

$$F_T = \pi(r_{T3}^2 - r_{T\text{ВН}}^2),$$

де r_{T3} – зовнішній радіус готової труби;

$r_{\text{ВН3}}$ – внутрішній радіус готової труби.

Після підставлення відповідних значень, отримаємо:

– площа поперечного перерізу до прокатування -

$$F_0 = 3,14 \cdot (6^2 - 4^2) = 62,8 \text{ мм}^2;$$

– площа кінцевого поперечного перерізу готової труби дорівнює –

$$F_T = 3,14 \cdot (5^2 - 4,5^2) = 4,92 \text{ мм}^2;$$

– загальний коефіцієнт витяжки дорівнює –

$$\mu_{\Sigma} = \frac{62,4}{4,92} = 12,7.$$

Дрібність деформації дорівнює:

$$n = \frac{3 \cdot 235}{10(1 + 2 \cdot 12,7)} = 2,67.$$

Приймаємо, що дрібність деформації дорівнює $n = 3$.

2.2 Визначення величини обтиснення при холодній деформації тонкостінної труби

При даному виді обробки досягається досить велика ступінь деформації, що може дорівнювати 75...80%. Для цього сприяють схеми напруженого стану, що виникають при деформації і дрібність деформації або кількість робочих циклів, за які початковий матеріал отримає свої кінцеві розміри.

Дрібність деформації сприяє збільшенню пластичності матеріалу. Усі ці дані впливають на сумарну ступінь обтиснення.

Обтиснення відбувається по стінці і за діаметром.

Для визначення величини обтиснення по стінці використовується вираз:

$$\Delta s_x = m\lambda_x(\text{tg}\gamma_x - \text{tg}\alpha), \quad (2.3)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

де $tg\gamma_x$ – нахил рівчака прокатного валка по гребню в перерізі x ;

$tg\alpha$ – нахил твірної лінії оправки;

m – об'єм подачі;

Δs_x – величина обтиснення стінки.

У тому випадку, коли буде використана оправка з криволінійною твірною, у наведеному виразі (2.1) слід застосовувати кут твірної оправки в перерізі x $tg\alpha$ аналогічно нахилу рівчаку прокатного валка $tg\gamma_x$.

Для визначення величини обтиснення за діаметром використовується вираз:

$$\Delta R_x = m\lambda_x \cdot tg\gamma_x, \quad (2.4)$$

де ΔR_x – величина обтиснення радіусу труби в точці x .

Відповідні значення наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри для визначення обтиснення

Параметр	m , мм	d_0 , мм	d_1 , мм	s_0 , мм	s_1 , мм	ΔR , мм
Значення	10	12	10	8	10	2

Для визначення величини обтиснення стінки за довжиною конусу, використовується формула:

$$\Delta s_z = \sqrt{s_x^2 + 2V_n(tg\gamma_x - tg\alpha)} - s_x, \quad (2.5)$$

де s_x – товщина стінки в перерізі x ;

V_n – питомий об'єм подачі, визначається за формулою:

$$V_n = ms_0 \frac{d_0 - s_0}{d_x - s_x}, \quad (2.6)$$

де d_0 – зовнішній діаметр початкової трубної заготовки;

s_0 – початкова товщина стінки;

d_x – зовнішній діаметр робочого конусу в перерізі x ;

s_x – товщина стінки робочого конусу в перерізі x .

Зміщений об'єм металу можна визначити за формулою:

$$V_{зм} = \sqrt{0,5\Delta s_z r_x} \Delta s_z, \quad (2.7)$$

де r_x – радіус прокатного валку по гребеню рівчака.

В результаті розрахунку, отримано:

– радіус прокатного валка по гребню дорівнює:

$$r_x = 150 - 10 = 140 \text{ мм};$$

– зміщений об'єм металу дорівнює:

$$V_{зм} = \sqrt{0,5 \cdot 0,8 \cdot 140} \cdot 0,8 = 6 \text{ мм}.$$

Під час холодного прокатування труб передбачають збільшення конусності у вхідній частині.

Максимальну величину обтиснення в миттєвому осередку деформації можна визначити за формулою:

$$\Delta s_x = \Delta s_z \left(1 - \frac{\sqrt{\Delta s_z r_x} \tan \gamma_x}{2s_x + \Delta s_z} \right). \quad (2.8)$$

Такі формули для визначення миттєвого осередку деформації застосовують для прямого ходу прокатної кліті після здійснення подачі. При зворотному ході кліті здійснюється обтиснення у тій частині металу, що знаходилася у випусках прокатної кліті, а також що була зміщена під час прямого ходу. Для визначення об'єму такої частини, користуються розмірами та формулю поперечного перерізу рівчака калібру, та ступенем обтиснення у ньому.

Розподіляти обтиснення потрібно між прямим та зворотнім холлом прокатної кліті. При цьому потрібно враховувати коефіцієнт перерозподілу сумарного обтиснення між прямим та зворотнім ходом. На зворотній хід прокатних валків припадає від 30 до 40% сумарної деформації, що здійснюється за подвійний хід.

Для прямого ходу величина обтиснення дорівнює:

$$\Delta s_{пр} = (1 - K_s) \cdot \Delta s_z, \quad (2.9)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_s – коефіцієнт перерозподілу сумарного обтиснення між прямим та зворотнім ходом, $K_s = 0,3 \dots 0,4$.

Для зворотного ходу кліті величина обтиснення дорівнює:

$$\Delta s_{зв} = K_s \cdot \Delta s_x. \quad (2.10)$$

В розрахунках сумарне: $\Delta s = 1$ мм.

Тоді, при прямому руху прокатної кліті: $\Delta s_{пр} = (1 - 0,3) \cdot 1 = 0,7$ мм.

При зворотному руху прокатної кліті $\Delta s_{зв} = 0,3 \cdot 1 = 0,3$ мм.

З метою отримання готового розміру тонкостінної труби потрібно виконати багаторазову деформацію, як показано на рисунку 2.3. В процесі такого обтиснення будуть багаторазово утворюватися миттєві осередки деформації, кожен з яких має дві частини: зону обтиснення стінки та зону редукування. Зона редукування в миттєвому осередку деформації з'являється внаслідок того, що виникає зазор між робочим конусом та оправкою. Утворення зазору обумовлено подачею та повертанням початкового матеріалу в крайніх положеннях ходу прокатних валків.

Великий вплив на технологічні показники холодного прокатування тонкостінних труб має довжина миттєвого осередку деформації при прямому (рис. 2.3, а) та при зворотному (рис. 2.3, б) руху.

Для надійного захоплення матеріалу прокатними валками, кут захоплення повинен дорівнювати:

$$\theta_3 = \operatorname{tg} \gamma_x \frac{R_{ш} - R_x}{r_x}. \quad (2.11)$$

При прокатуванні відбувається зсув задньої границі осередку деформації. Такий зсув залежить від радіусу ведучої шестерні, бочки прокатного валка та гребня рівчака. Утворюється додаткова довжина осередку деформації, яка визначається за формулою:

$$l_{\text{дод}} = \pm \frac{1}{2} \operatorname{tg} \gamma_x \left(\frac{2R_{ш}^2 - r_x^2 - R_6^2}{R_x} \right), \quad (2.12)$$

де R_x – радіус робочого конусу в перерізі x .

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

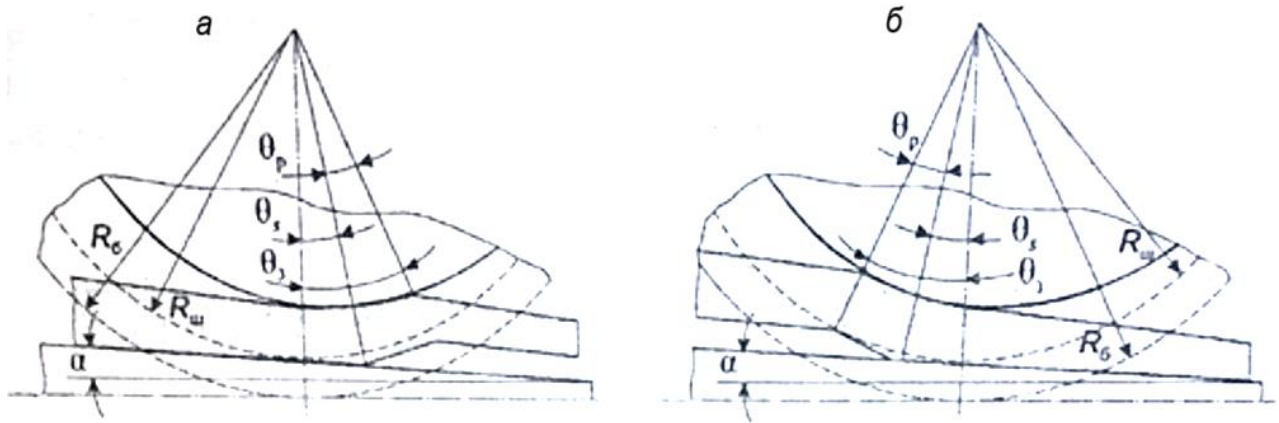


Рисунок 2.3 – Схема утворення миттєвого осередку деформації при холодному прокатуванні труб: *а* – для прямого ходу прокатних валків; *б* – для зворотного ходу прокатних валків; R_6 – радіус прокатного валка по бочці калібру; R_w – радіус розподільного кола ведучої шестерні; θ_z – кут захоплення металу прокатними валками; θ_p – кут редукування; θ_s – кут обтиснення стінки

В формулі (2.12) знак плюс означає, що виконуються прямих рух, знак мінус, що відбувається зворот зворотній рух кліті.

В результаті розрахунку, отримано:

$$l_{\text{дод}} = \pm \frac{1}{2} 0,3 \left(\frac{2 \cdot 145^2 - 5^2 - 150^2}{145} \right) = \pm 20 \text{ мм.}$$

2.3 Деформація валкового інструменту

Повна площа контактної поверхні валків і оброблюваного матеріалу складається з площі контактної поверхні зони обтиснення стінки та площі контактної поверхні зони редукування.

Площа контактної поверхні зони обтиснення визначається за формулою:

$$F_x = \eta_2 \pi R_x \sqrt{2r_x \Delta s_x}, \quad (2.13)$$

де η_2 – коефіцієнт форми при двовалковій схемі прокатного стану:

$$\eta_2 = 1,26 \dots 1,30.$$

Під час холодного прокатування відбувається пружна деформація прокатних валків. Горизонтальна проєкція повної контактної поверхні з

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням такого сплюснення буде дорівнювати:

$$F_{\Sigma x} = \eta_2 D_x \sqrt{2R_x \Delta t_x} + 3,9 \cdot 10^{-4} D_x (0,393 R_6 - \frac{D_x}{6}), \quad (2.14)$$

де σ_B – границя міцності обробляемого матеріалу при відповідному ступеню деформації;

D_x – діаметр рівчака в перерізі x , $D_x = 2R_x$;

R_x – радіус того ж рівчака.

По бочці прокатного валка горизонтальна проєкція повної контактної поверхні з урахуванням сплюснення прокатних валків буде дорівнювати:

$$F_{\Sigma x} = 1,3 \cdot 150 \sqrt{2 \cdot 75 \cdot 0,1} + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 150 (0,393 \cdot 75 - \frac{150}{6}) = 780 \text{ мм}^2.$$

Горизонтальна проєкція повної поверхні контакту визначається за формулою:

$$F_{\text{повн } x} = \eta_2 B_x \sqrt{2r_x \Delta R_x}, \quad (2.15)$$

де B_x – ширина рівчака, яка визначається за формулою:

$$B_x = D_x + \Delta B_x, \quad (2.16)$$

де ΔB_x – приріст ширини.

В результаті розрахунку, отримано:

– ширина рівчака: $B_x = 10 + 2 = 12 \text{ мм}$,

– горизонтальна проєкція повної поверхні контакту дорівнює:

$$F_{\text{повн } x} = 1,3 \cdot 12 \sqrt{2 \cdot 5 \cdot 1} = 51 \text{ мм}.$$

Вигляд горизонтальної та вертикальної контактної поверхні при холодному прокатуванні труби показано на рис. 2.4.

Горизонтальна проєкція контактної поверхні при обтисненні стінки труби (рис. 2.4) дорівнює:

$$F_x = \eta_2 D_x \sqrt{2r_x \Delta s_x}, \quad (2.17)$$

де ΔR_x – повне обтиснення труби у осередку деформації;

Δs_x – обтиснення по стінці труби у осередку деформації;

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

r_x – радіус гребеня рівчака, який визначається за формулою:

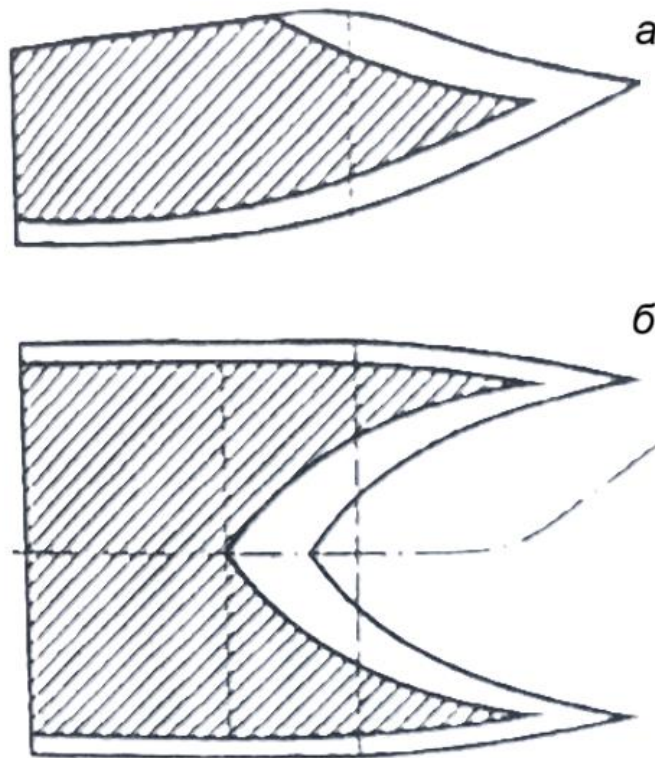


Рисунок 2.4 – Проекції контактної поверхні при холодному прокатуванні труби: *a* – вертикальна; *б* – горизонтальна

$$r_x = r_0 - R_x, \quad (2.18)$$

де r_0 – радіус бочки прокатного валка.

Рівчак прокатних станів холодного прокатування труб має змінний радіус.

Під час редукування відбувається зменшення діаметру труби. Цей процес відбувається при меншому контактному тиску металу на прокатні валки за процес обтиснення за товщиною стінки.

2.4 Дослідження показників точності та різнотовщинності

В процесі отримання труб великий вплив на точність холоднокатаних має різнотовщинність.

Труби під час прокатування одержують різнотовщинність, яка складається з ексцентричної та симетричної складових.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ексцентричної різнотовщинності характерне те, товста та тонка стінки знаходяться у протилежних перерізах труби (рис. 2.5).

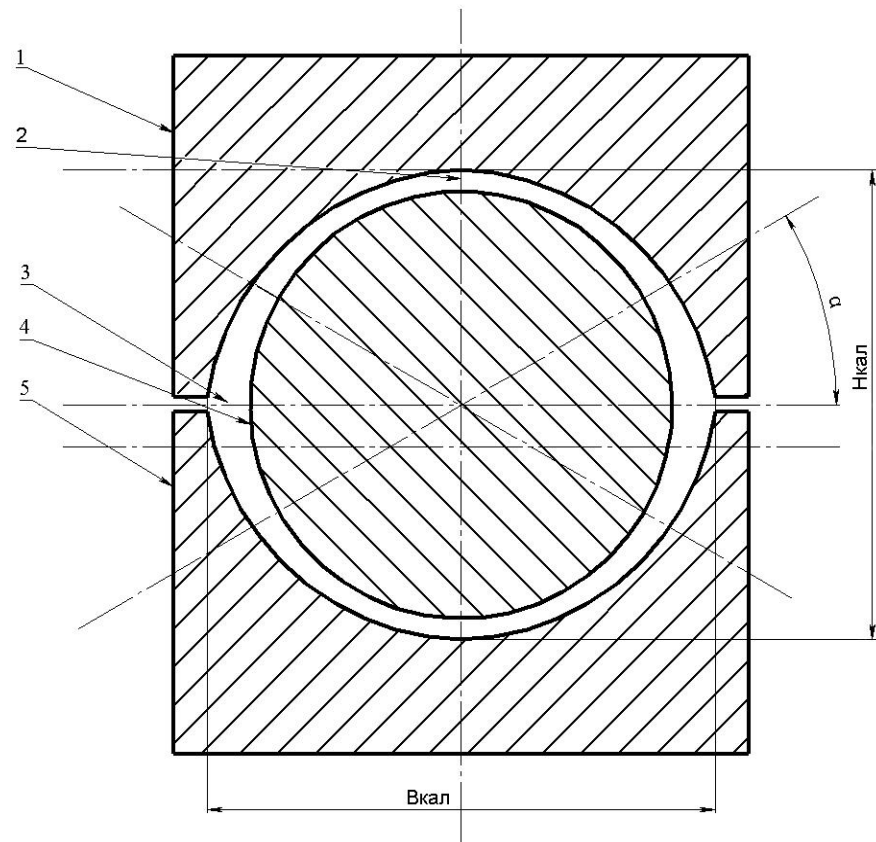


Рисунок 2.5 – Поперечний переріз рівчака калібру та труби на початку зони обтиснення: 1 – калібр, що створений верхнім прокатним валком; 2 – вершина калібру; 3 – випуск; 4 – оправка; 5 – калібр, що створений нижнім прокатним валком; α – кут випуску; $H_{\text{кал}}$ – висота калібру; $B_{\text{кал}}$ – ширина калібру

В результаті проведеного дослідження було виявлено, що суттєву величину має ексцентрична складова різнотовщинності труб, а симетрична складова не є великою.

Для зменшення різнотовщинності рекомендується збільшити зону редукування. Також на поперечну різнотовщинність впливає ступінь наклепу при холодному прокатуванні. Дослідження довели, що чим вища інтенсивність наклепу, тим швидше протикає процес зменшення поперечної різнотовщинності

при холодному прокатуванні.

Було виконано дослідження холоднодеформованих труб, де було приділено особливу увагу у зоні редукування. Під час проведення експериментів біло штучно збільшено зону редукування. Дослідження показали, що при редукуванні з деформаціями більше 25 % суттєво зменшується різнотовщинність за рахунок падіння її ексцентричної складової, а симетрична складова залишається майже не змінною. Дослідження довели, що максимальне зменшення поперечної різнотовщинності дорівнює 50%. Для такого дослідження було виконано спеціальне калібрування інструменту з великою зоною редукування [12, 13].

Було досліджено зменшення різнотовщинності в залежності від ступеню обтиснення при початковій різнотовщинності 10 %. Результати дослідження показано на рис. 2.6, де видно, що зі збільшенням ступеню деформації різнотовщинність зменшується.

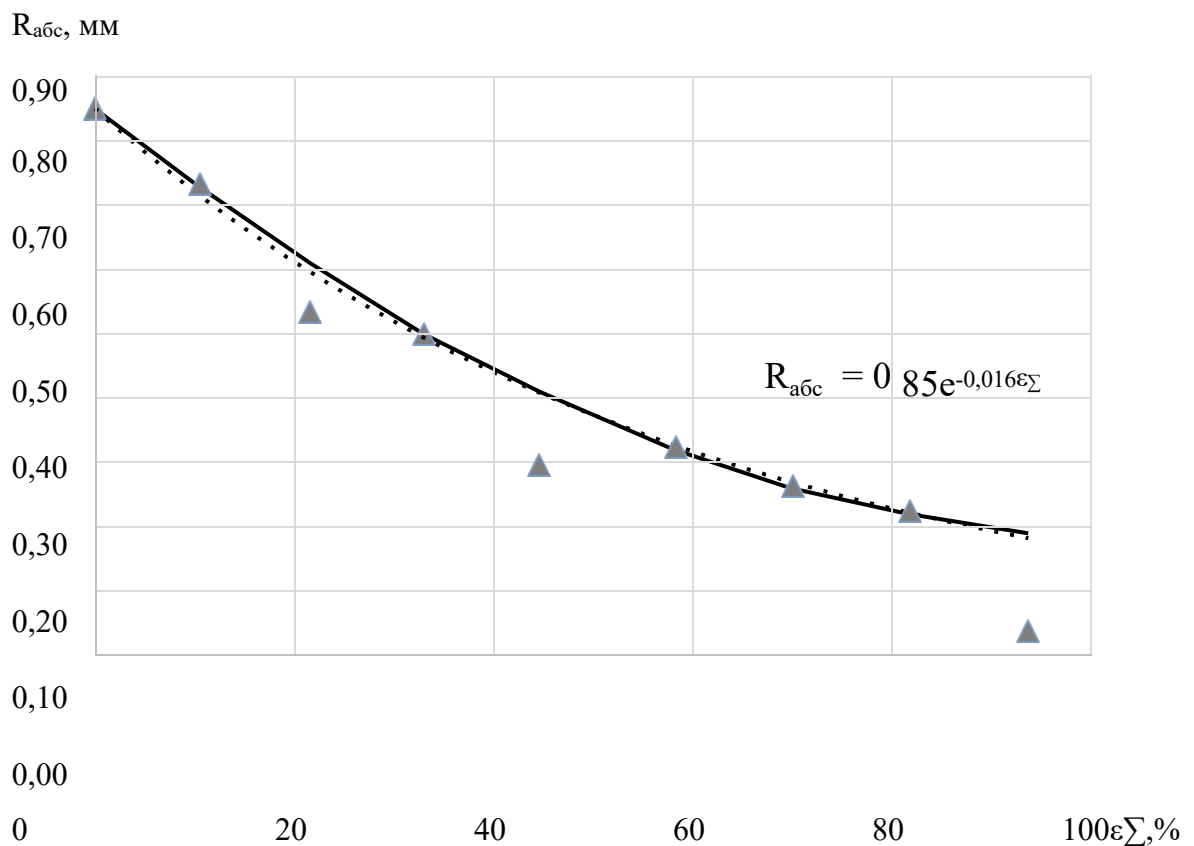


Рисунок. 2.6 – Вплив ступеню обтиснення на величину різнотовщинності при холодній обробці тонкостінних труб [13]

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було розроблено механізм зменшення поперечної ексцентричності різнотовщинності, в результаті якого оказано, що розташування тонкої і товстої стінки по вершинам калібру більше обтиснення здійснюється по товстій стінці (рис. 2.7). Це пояснюється тим, що зміцнення металу тонкої стінки є більш інтенсивним, як товстої.

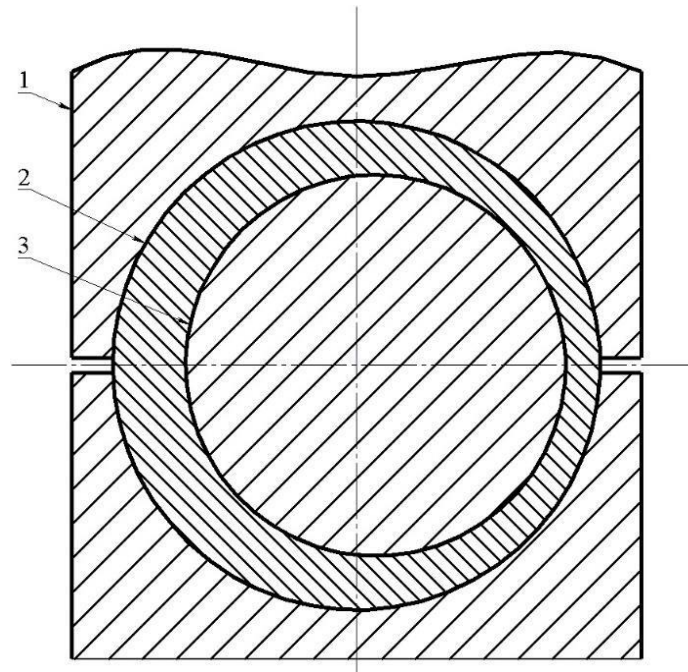


Рисунок 2.7 – Поперечний переріз труби, що розташовано в калібрах:

1 – калібр; 2 – поперечний переріз труби; 3 – оправка

З рисунку 2.7 видно розташування холоднокатаної труби в калібрі у поперечному перерізу, де прослідковується її різнотовщинність, де видно розташування тонкої та товстої стінки.

При багаторазовому обтисненні тонка стінки отримує більше деформацій і, внаслідок, вона буде мати більше зміцнення матеріалу.

При прокатуванні у осередку деформації діють сили прокатування. Між собою сили, що виникають при взаємодії тонкої і товстої стінки мають бути рівними. Внаслідок цього виникає збільшення обтиснення товстої стінки та зменшення обтиснення тонкої, що дає різні довжини горизонтальних проєкцій осередку деформації і, відповідно, різні площі контакту. Через це метал на тонкій

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стіни деформується більш інтенсивно, і виникає більш інтенсивне зміцнення.

Такі явища забезпечують виникнення умови рівноваги, що необхідна під час прокатування тонкостінних труб. Сили прокатки, що діють з одної та іншої сторони повинна дорівнювати між собою, що і виконується за рахунок зміни довжини осередку деформації (рис. 2.8).

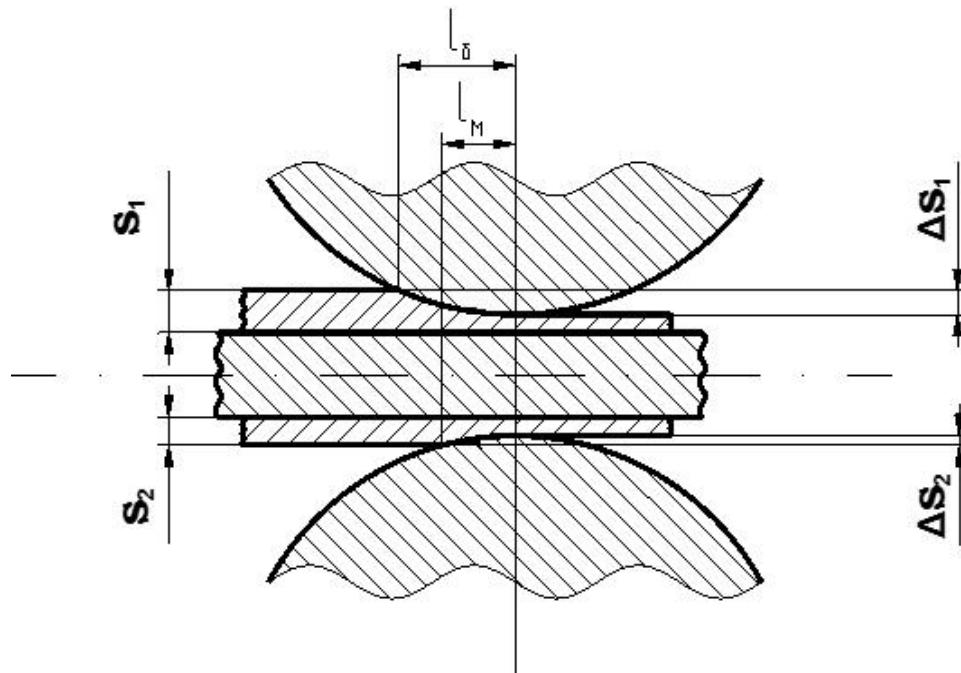


Рисунок 2.8 – Утворення миттєвого осередку деформації для стабілізації процесу холодного прокатування тонких листів: S_1 – товщина товстої стінки труби; S_2 – товщина тонкої стінки; ΔS_1 – величина обтиснення на товстій стінці; ΔS_2 – величина обтиснення на тонкій стінці; l_v – довжина осередку деформації в контакті з верхнім прокатним валком; l_n – довжина осередку деформації в контакті з нижнім прокатним валком

Таке явище буде можливе у випадку, коли система труба-оправка буде переміщена в сторону тонкої стінки. За такими умовами буде забезпечено зменшення поперечної ексцентричності різностінності

Це можливо, коли система труба-оправка переміститься відносно валків у бік товстої стінки, що дозволить отримати якісні труби в умовах холодного прокатування.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Зусилля холодного прокатування тонкостінної труби

Визначення вертикальної складової тиску металу на прокатні валки можна виконати за формулою, яка має вигляд суми додатків:

$$P_{\Sigma} = p_s F_k + p_d (F_{\text{повн}k} - F_k), \quad (2.19)$$

де p_s – середній контактний тиск, що виникає під час обтиснення стінки;

p_d – середній контактний тиск, що виникає при редукуванні.

Середній контактний тиск для прямого ходу прокатної кліті (Н/мм²) визначається за формулою:

$$p_{\text{ср пр}} = (1,02 \div 1,08) \sigma_B + f \left(\frac{s_0}{s_x} - 1 \right) \frac{r_{\text{ш}} \sqrt{2r_x \Delta s_{\text{пр}}}}{r_x s_x} \sigma_B, \quad (2.20)$$

Середній контактний тиск для зворотного ходу прокатної кліті визначається за формулою:

$$p_{\text{ср зв}} = (1,02 \div 1,08) \sigma_B + 2f \left(\frac{s_0}{s_x} - 1 \right) \frac{r_{\text{ш}} \sqrt{2r_x \Delta s_{\text{зв}}}}{r_x s_x} \sigma_B, \quad (2.21)$$

де s_x – товщина стінки робочого конусу в перерізі x ;

f – коефіцієнт тертя, який залежить від марки оброблюваного матеріалу, для сталевих труб цей коефіцієнт дорівнює $f = 0,08 \dots 1,2$;

$r_{\text{ш}}$ – радіус ведучої шестерні на прокатному валку;

r_x – катаючий радіус;

$\Delta s_{\text{пр}}$ – обтиснення труби за товщиною стінки у миттєвому осередку деформації при прямому ході прокатної кліті;

$\Delta s_{\text{зв}}$ – обтиснення труби за товщиною стінки при зворотному ході прокатної кліті.

Границя течії металу σ_T при холодному прокатуванні тонкостінної труби здатна збільшуватися через зміцнення матеріалу. Величина її зміцнення залежить від ступеню деформації і визначається за формулою:

$$\sigma_T = \sigma_0 + 0,58 \varepsilon^{0,98}, \quad (2.22)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де σ_0 – початкова границя течії;

$\varepsilon^{0,98}$ – ступінь обтиснення.

Результати дослідження зміни границі міцності наведено в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Результати дослідження зміни границі течії сталі 18ХГТ

Ступінь деформації, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Границя течії, МПа	730	780	820	860	900	935	968	995	1100

Величина сумарного обтиснення в миттєвому осередку деформації розраховується за наближеною формулою:

$$\Delta s_{\Sigma} = \Delta s_{\text{пр}} + \Delta s_{\text{зв}} = m \lambda_{\Sigma} (tg \gamma_x - tg \alpha), \quad (2.23)$$

де m – величина подачі труби, що здійснюється за один подвійний хід прокатної кліті;

λ_{Σ} – сумарна витяжка;

$tg \gamma_x$ – середня конусність рівчака калібру.

Сумарна витяжка визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{(d_0 - s_0)s_0}{(d_x - s_x)s_x}, \quad (2.24)$$

де d_x – діаметр рівчака калібру ц відповідному перерізі x ;

d_0 – початковий діаметр рівчака;

s_0 – початкова товщина стінки.

Середня конусність рівчака визначається за формулою:

$$tg \gamma_x = \frac{d_{x-1} - d_x}{2l_{(x-1)+x}}, \quad (2.25)$$

де $l_{(x-1)+x}$ – довжина ділянки між двома перерізами, де розраховується конусність рівчака;

d_{x-1} – діаметр рівчака в поперечному перерізі $x - 1$;

d_x – діаметр рівчака в перерізі x .

Для спрощення розрахунків на підставі дослідних даних рекомендується приймати для прямого ходу:

$$\Delta s_{\text{пр}} = (0,7 \div 0,8) \Delta s_{\Sigma}.$$

Для зворотного ходу величину обтиснення приймають:

$$\Delta s_{\text{зв}} = (0,2 \div 0,3) \Delta s_{\Sigma}.$$

Для розрахунку повної сили прокатування потрібно:

- визначити калібрування інструменту;
- розрахувати контактний тиск у кожному контрольному перерізі за довжиною робочого конусу за формулами (2.18) та (2.19)
- за результатами розрахунків визначити максимальний тиск.

При холодному прокатуванні труби особливу увагу відіграє осьова сила, що прикладено з боку прокатних калібрів. Така сила може мати різні знаки, що є наслідком відсутності рівноваги горизонтальних складових сил, які діють у миттєвому осередку деформації.

Осьова сила, що виникає під час прокатування може бути визначена за формулою:

$$\Omega_{\text{ср}} = n_{\Omega} \cdot P_{\text{ср}}, \quad (2.26)$$

де n_{Ω} – коефіцієнт, який залежить від швидкісних умов процесу холодного прокатування труб;

$P_{\text{ср}}$ – середня вертикальна сила прокатування.

При рівномірній швидкості цей коефіцієнт дорівнює $n_{\Omega} = 0,08 \dots 0,1$.

При несприятливих умовах він збільшується і приймає значення

$$n_{\Omega} = 1,15 \dots 1,2.$$

Результати розрахунків вертикальної сили наведено в таблиці 2.3.

Таблиця показує зміни сили прокатування при прямому та зворотному ході прокатної кліті, де видно, що вертикальна сила при прямому ході приймає більші значення, ніж при зворотному і досягає максимального значення 1000 кН.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку сили прокатування, кН

Довжина обтискної зони, мм	Вертикальна сила, кН		Осьова сила, кН	
	прямий хід	зворотній хід	прямий хід	зворотній хід
450	610	610	0	0
400	720	720	0	0
350	800	800	5	0
300	880	750	10	11
250	920	600	15	20
200	980	650	20	18
150	1000	200	28	12
100	950	50	30	8
50	620	0	25	1
0	500	0	5,0	0

Середню вертикальну силу можна визначити за формулою:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_{zi}}{n}, \quad (2.27)$$

де P_{zi} – значення вертикальної сили в i -тій точці;

n – кількість точок визначення вертикальної сили, $n = 10$.

Після підстановки, отримаємо, що середня вертикальна сила дорівнює $P_{\text{ср}}=798$ кН; середня осьова сила дорівнює 12,3.

Осьова сила при прямому ході також перевищує осьову сили, що виникає при зворотному ході майже у два рази, що пояснюється тим, що при здійсненні зворотного ходу не має потреби прикладати великі зусилля.

2.5 Момент прокатування тонкостінної труби

На момент прокатування має вплив моменту, що утворюється від дії вертикальної складової повного тиску металу на валки та від тенденційної сили.

Повний момент прокатування визначається при прямому ході та при зворотному.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При прямому ході повний момент буде дорівнювати:

$$M_{\text{пр}} = P_{\text{ср}} r_{\text{розр}} \left(n_{\Omega} + \eta_2 \sqrt{\frac{1,4 \Delta s_{\text{ср}}}{r_{\text{розр}}}} \right), \quad (2.28)$$

де $r_{\text{розр}}$ – розрахунковий радіус прокатного валка, який визначається за формулою:

$$r_{\text{розр}} = r_6 - \frac{r_0 - r_k}{4}, \quad (2.29)$$

де r_6 – радіус бочки прокатних валків;

r_0 – радіус початкового матеріалу (труби);

r_k – радіус готової труби;

$\Delta s_{\text{ср}}$ – середнє обтиснення за товщиною стінки, що відбувається за один цикл прокатування та визначається за формулою:

$$\Delta s_{\text{ср}} = \frac{\Delta s_{\Sigma}}{n_d}, \quad (2.30)$$

де n_d – коефіцієнт дрібності деформації при прокатуванні, який можна визначити за формулою:

$$n_d = \frac{3l_{\text{обт}}}{m(1+\lambda_{\Sigma})}, \quad (2.31)$$

де $l_{\text{обт}}$ – довжина частини обтиснення калібру.

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

– коефіцієнт дрібності було прийнято: $n_d = 3$;

– середнє обтиснення за товщиною стінки: $\Delta s_{\text{ср}} = \frac{1}{3} = 0,33$ мм;

– розрахунковий радіус прокатного валка:

$$r_{\text{розр}} = 75 - \frac{6-5}{4} = 74,75 \text{ мм} = 0,07475 \text{ м.}$$

Момент прокатування залежить від зусилля обробки, що наведено в табл. 2.3.

Для визначення моменту при прямому ході кліті використаємо формулу (2.28), де врахуємо середню вертикальну силу і будемо вважати, що швидкість

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокатування розподілено рівномірно:

$$M_{\text{пр}} = 798 \cdot 0,07475 \left(0,1 + 1,3 \sqrt{\frac{1,4 \cdot 0,001}{0,07475}} \right) = 16,76 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент буде дорівнювати

$$M_{\text{пр max}} = 1000 \cdot 0,075 \left(0,1 + 1,3 \sqrt{\frac{1,4 \cdot 0,001}{0,075}} \right) = 21,15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, з розрахунків видно, що момент прокатування може змінюватися від 16,76 до 21,15 кН·м.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.02.РТХДТТ	Аркуш
						2.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було досягнуто її мету виконано задачі дослідження.

Визначено призначення тонкостінної труби, умови їх експлуатації, їх переваги та недоліки, з'ясовано вимоги, що пред'являють до тонкостінних труб.

Досліджено існуючі технологічні процеси, що дозволяють отримати тонкостінну трубу холодної деформацією, визначено машини та обладнання, яке дозволяють це досягти, розглянуто його склад, будову та принцип дії.

Визначено вихідний матеріал, що використовується для виготовлення тонкостінної труби. До такого матеріалу відноситься легована сталь, що дозволяє після термічної обробки забезпечити потрібну працездатність виробу. В якості вихідної заготовки обрано гарячекатану трубу, розміри якої мало відрізняються від розмірів готової холоднокатаної труби.

Запропоновано найбільш перспективний технологічний процес отримання тонкостінної труби, визначено послідовність операцій, що дозволять отримати якісний виріб з максимальним терміном працездатності.

Для отримання високоякісної труби запропоновано валкове обладнання холодного прокатування труб, розглянуто розташування та принцип дії його елементів та режими роботи. Визначено інструмент для здійснення процесу холодного прокатування тонкостінної труби, запропоновано його калібрування, що дозволить отримати точні розміри труби.

Досліджено показники якості холодного прокатування тонкостінних труб, де визначено, що великий вплив на якість труби має поперечна різнотовщинність труби. Для зменшення різнотовщинності в роботі рекомендується збільшити ступінь наклепу та збільшити зону редукування. Для цього потрібно виконати відповідне калібрування інструменту, який має вигляд пілігрімового валка.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.В			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лещенко						1	2
Перевірив	Бабошко							
Рецензент								
Н. контр.	Бабошко							
Затвердив	Савельєв					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		

На валковому стані холодного прокатування обтиснення труби відбувається за декілька проходів. В роботі було визначено кількість проходів, яка дорівнює трьом, що дозволяє виготовити точний виріб з максимальної продуктивністю.

Визначено дії сил при холодному прокатуванні, де виявлено, що у процесі обробки діють дві складові сили: вертикальна і осьова, що змінюються в залежності від розташування.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.В	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» усіх форм навчання / С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. – 32 с.

2. Світлий Ю.Г., Білецький В.С. Гідравлічний транспорт (монографія). Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. – 436 с. ISBN 978-966-317-038-1.

3. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т./ за ред. В.С. Білецького. – Д.: Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3: С-Я. – 644 с.

4. Зотов В.Ф. Производство проката. [Електронний ресурс]: Классификация и типы прокатных станов. – © MarkMet 2005-2021 г. – https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/klassifikatsiya-i-tipy-prokatnykh-stantov.

5. Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод: 1891-2011 [Текст] / [Н. И. Железняк, М. С. Забуга, Ю. С. Филали Ансари ; редкол.: А.М. Коротков (рук. редкол.) и др.; фото В. Ю. Николаев]. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2011. – 111 с.: фот. – 2000 прим. – ISBN 978-966-348-256-9.

6. Станы холодной прокатки труб / [Електронний ресурс] // – Режим доступу до ресурсу: <http://www.eztm.ru/catalog/prokatnoe-oborudovanie/stans/>.

7. Труби сталеві безшовні для нафтопереробної та нафтохімічної промисловості. Технічні умови [Текст]. – Чинний від 2021-01-01. – Київ: УкрНДНЦ, 2020. – III, 11 с.: табл. – (Національний стандарт України).

8. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О.Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.Л			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лещенко							
Перевірив	Бабошко						1	3
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Бабошко							
Затвердив	Савельєв							

9. Чубенко В. А., Хіноцька А.А., Технологія прокатного виробництва: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О, 2017. – 170 с.

10. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: Монографія. – Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2010. – 404 с.

11. Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес [Текст]: [коллектив. моногр.] / под ред. чл.-кор. НАНУ А. Г. Величко, акад. НАНУ В. И. Большакова, проф. В. Ф. Балакина. – Днепропетровск: Экономика, 2015. – 498 с.

12. Пилипенко С.В. До питання холодної прокатки труб з підвищеними вимогами до точності геометричних розмірів /Пилипенко С.В., Міщенко О.В.// Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus Специальный выпуск, 2014. – С. 125-129.

13. Мищенко А.В. Результаты данных компьютерного моделирования и эксперимента по изменению эксцентричной разнотолщинности при холодной деформации на оправке / А.В.Мищенко, В.У.Григоренко, А.Стефанек // Пластическая деформация металлов: сб. научн. трудов в 2-х томах. Днепропетровск : Акцепт ПП. – 2014. – Т. 2. – Ст. 295-299.

14. Міщенко О.В. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР / Міщенко О.В., Пилипенко С.В., Григоренко В.У. // Системні технології. – Дніпропетровськ. НМетАУ, 2010. – 5(70). – С. 37-46.

15. Григоренко В.У. Исследование снижения поперечной разностенности труб при редуцировании в условиях непрерывной периодической роликовой прокатки труб / Григоренко В.У., Данченко В.Н., Миленин А.А. // Дніпропетровськ: Системні технології. – 2003. – № 6/(29). – С. 140-148.

16. Кузнецов Е.Д. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб / Кузнецов Е.Д.// Развитие теории процессов производства труб:

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Сб. науч. тр. под редакцией В.Н. Данченко – Днепропетровск: Системные технологии, 2005 – С. 233-259

17. Григоренко В.У. Экспериментальные исследования изменения разностенности труб по длине рабочего конуса при прокатке на стане ХПТР / В.У. Григоренко, К.В. Щербань // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. Теорія і технологія виробництва труб. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – Т. 11. – С. 270-273.

18. Григоренко В.У. Развитие метода расчета параметров процесса холодной пильгерной прокатки труб / В.У. Григоренко, С.В. Пилипенко // Обработка материалов давлением: Зб. науч. праць. – Краматорськ, 2010. – С. 214 – 217.

19. Григоренко В.У. Холодна пильгерна прокатка труб. / Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НМетаУ, 2006. – 48 с.

20. Вышинский В.Т. Влияние особенностей поворотно-подающих механизмов станов ХПТ на стабильность геометрических параметров труб / В.Т. Вышинский, С.Р. Рахманов, В.Г. Воронько, А.В. Журавлёв // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. №4. – С. 58-62.

					КНУ.РБ.136.25.149с-13.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3